Ana Raquel Gonçalves Soares

GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS ENERGÉTICOS – CONTEXTUALIZAÇÃO E ANÁLISE

Mestrado em Energia para a Sustentabilidade

2011

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Agradecimentos

Os meus primeiros agradecimentos são dirigidos ao Professor Doutor Carlos Henggeler Antunes e ao Professor Doutor Álvaro Gomes que muito contribuíram e continuam a contribuir para a minha formação. Agradeço o acompanhamento contínuo, as discussões produtivas, a disponibilidade total e a constante motivação.

À minha família deixo um agradecimento enorme do fundo do meu coração pelo encorajamento e por todos os momentos de descontracção.

Agradeço também ao David e à Eunice por terem estado sempre a meu lado e pelas constantes palavras de motivação.

Ana Raquel Soares

Resumo

As preocupações actuais relativas aos consumos de energia eléctrica, às questões ambientais, nomeadamente às emissões de Gases de Efeito de Estufa, e à volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis têm conduzido a modificações nos Sistemas de Energia Eléctrica (SEE).

Algumas dessas mudanças foram tornadas exequíveis devido ao desenvolvimento tecnológico, designadamente nas áreas:

- da produção distribuída, incluindo a da microgeração;
- do armazenamento de energia com as evoluções nas baterias e supercondensadores;
- das Tecnologias da Informação e Comunicação nos Sistemas de Energia possibilitando leituras automáticas e disponibilizando ao consumidor informação acerca do seu consumo e de preços em "tempo real".

Face a estas mudanças e levando em conta o sentido da evolução dos SEE, o consumidor residencial, que passou também a poder ser produtor, tem a possibilidade de utilizar de forma mais eficiente os diversos recursos energéticos que tem à sua disposição, como sejam a produção e/ou microcogeração, a compra e/ou venda de energia à rede, o armazenamento e a gestão de cargas. Do ponto de vista do consumidor, a capacidade de controlo destes recursos deve tirar o máximo partido da flexibilidade de utilização apresentada por algumas cargas, no sentido de minimizar a sua factura eléctrica sem perda de conforto e sem depreciação da qualidade dos serviços de energia. O facto da procura poder passar a ser tratada como um recurso controlável, contribuindo para adiar a necessidade de investimentos no aumento de capacidade do sistema, aumentando a fiabilidade do sistema e reduzindo a necessidade de recurso a centrais menos eficientes, traz também vantagens para os SEE.

Tendo em conta o número elevado de recursos energéticos presentes no sector residencial passíveis de ser controlados, a sua gestão integrada apresenta um grau de dificuldade elevado. Numa primeira etapa do processo de optimização da gestão integrada de recursos é necessário ter em conta as previsões de preços, as condições atmosféricas, as necessidades e as preferências do consumidor, agendando-se o funcionamento das cargas com base nos pressupostos de utilização típica e nas restrições operacionais. Já numa segunda fase, este processo de optimização deve ser conduzido continuadamente em função de eventuais sinais que surjam em tempo real, quer do lado da rede/sistema, quer do lado do consumidor, e que induzam alterações no escalonamento previamente identificado.

Este trabalho tem então dois objectivos principais: análise e caracterização dos vários recursos presentes no sector residencial e conceptualização da sua gestão integrada. O atingir destes objectivos possibilitará o desenvolvimento futuro de algoritmos que permitirão efectivar essa gestão optimizada dos recursos e que afectarão o diagrama de carga diário típico com vantagens esperadas para os consumidores e para os operadores.

Neste trabalho é ainda efectuada a categorização das cargas de acordo com o seu possível grau de controlo, sendo desenvolvido um simulador que permite observar os impactos do controlo das cargas no diagrama de carga. Abordam-se também as características técnicas relativas aos sistemas de armazenamento, contextualiza-se devidamente a questão da Utilização Racional de Energia e apresenta-se de forma sucinta os actuais conceitos de *Smart Appliances* e *Smart Grids*. Esta abordagem permitirá o estabelecimento das bases metodológicas para o desenvolvimento dos algoritmos a serem implementados num sistema de gestão integrada de recursos energéticos de acordo com o conceito de *Energy Box*.

Palavras-chave:

Gestão integrada de recursos energéticos, Análise de recursos no sector residencial, *Smart Appliances*, *Smart Grids*, *Energy Box*.

Abstract

The current concerns regarding electricity consumption, environmental issues, namely Green House Gas (GHG) and fossil fuels' price volatility have been leading to modifications in the Electrical Energy Systems.

Some of these changes have been possible due to technological developments in the following areas:

- distributed generation, including microgeneration;
- energy storage, due to the evolution of batteries and supercapacitors;
- Information and Communication Technologies that allow automated communication in short time periods and offer the consumer information about his/her consumption and real time pricing.

In face of these changes and considering the directions of the evolution of Electrical Energy Systems, the residential consumer, who can be nowadays also a producer, has the possibility to use his/her energy resources in a more efficient way. This includes production and/or microcogeneration, electricity buy or sell to the grid, energy storage and load management. From the consumer point of view, this control should take advantage from the flexibility in load usage in order to minimize the electricity bill without having a negative impact on comfort or depreciating the energy service quality. Since energy demand is treated as a manageable resource, postponing the investment needed to increase the system capacity, increasing system reliability and decreasing the use of less efficient power plants also brings advantages to the Electrical Energy Systems.

Considering the high number of energy resources in the residential sector that can be managed, this process may present a noticeable difficulty. In a first approach to the management optimization of energy resources, prices and weather forecasts as well as the consumers' needs and preferences should be considered in order to adequately schedule working cycles. However, in a second phase, this optimization should be made in a continuous basis according to different input signals, either from the grid or the consumer side in real time, and perhaps changing the scheduling already done.

This work has then two main objectives: analysis of the energy resources in the residential sector as well as characterization and conceptualization of their integrated management. The fulfillment of these objectives will allow future algorithmic developments to perform this optimized management, which will affect the typical load diagram.

In this work the load categorization according to its degree of achievable control is carried out and a simulator is developed for displaying the load control impacts on the daily load diagram. Storage systems technical restrictions are also highlighted, Rational Use of Energy is contextualized and concepts of Smart Appliances and Smart Grids are briefly presented. This allows the establishment of the technical basis that will be used to implement algorithms to be used in an integrated management system according to the Energy Box concept.

Keywords:

Energy Resources Integrated Management, Residential Sector Resources Analysis, Smart Appliances, Smart Grids, Energy Box.

Índice

Índice de Figuras

Índice de Tabelas

1. Introdução

Esta dissertação tem como objectivo proceder a uma análise dos recursos energéticos presentes no sector residencial, bem como evidenciar as características e identificar os requisitos que permitam categorizar cada um desses recursos em função do seu grau de controlo. Esta caracterização funcional, de disponibilidade, de requisitos e de restrições em termos de operação e controlo dos diversos recursos, e caracterização das preferências dos utilizadores dos serviços de energia permitem depois esboçar com algum detalhe o conceito de gestão integrada de recursos no sentido da sua utilização eficiente.

Esta análise e caracterização detalhada dos recursos associada à conceptualização da respectiva gestão integrada permitirá, num trabalho futuro, o desenvolvimento de algoritmos capazes de gerir o funcionamento dos vários recursos respeitando as preferências do consumidor e mantendo o seu nível de conforto e qualidade dos serviços de energia usados, desejavelmente reduzindo a sua factura de energia eléctrica e alterando o típico diagrama de carga.

No Capítulo 2 é feita uma breve contextualização da evolução dos Sistemas de Energia Eléctrica. Aí são também referidas as actuais pressões ambientais devidas ao crescimento do consumo de energia e as várias opções usadas para controlar esse crescimento e tentar evitar picos de consumo, por exemplo, através do fornecimento usando fontes alternativas, nomeadamente as energias renováveis.

No Capítulo 3 é abordada a Utilização Racional de Energia e a Gestão da Procura que se apresentam também como uma opção no controlo do consumo de energia.

No Capítulo 4 é feita a caracterização da utilização de energia eléctrica do sector residencial apresentando-se os principais consumos e taxas de posse dos equipamentos por habitação. Para as cargas do sector residencial potencialmente controláveis são apresentados os diferentes ciclos de funcionamento apresentando-se as cargas que podem ser interrompidas, reagendadas e/ou reparametrizadas. Com base na categorização das cargas estabelecida e noutros pressupostos como a taxa de posse, os consumos típicos e o padrão diário de utilização dos vários equipamentos, é desenvolvido um simulador que mostra o impacto das várias acções no diagrama de carga diário deste sector. Este simulador está explicado com maior detalhe no Anexo A.

No Capítulo 5 é tratado o armazenamento de energia, seja associado aos veículos eléctricos ou relativo a sistemas dedicados de armazenamento. Estes sistemas de armazenamento podem ser facilmente incluídos numa gestão integrada de recursos.

A questão da microprodução é abordada no Capítulo 6, apresentando-se os sistemas que podem facilmente ser usados no sector residencial e a actual legislação.

No Capítulo 7 explica-se o conceito de *Smart Grid*, sendo estas relevantes neste contexto no sentido em que fornecem a base tecnológica para a implementação de sistemas de gestão optimizados de recursos energéticos.

No Capítulo 8 define-se *Smart Appliances* referindo o aproveitamento da microprodução para alimentar estes electrodomésticos e as dificuldades de implementação prática.

No Capítulo 9 entra-se finalmente na definição da *Energy Box* como um sistema de gestão energética guiado pela procura, sendo abordado no Capítulo 10 a questão da comunicação e no Capítulo 11 a implementação deste conceito.

No Capítulo 12 são tecidas as conclusões finais e é sublinhada a importância desta análise que permitirá num trabalho futuro o desenvolvimento de algoritmos para gerir os vários recursos energéticos.

2. Breve Contextualização

A evolução da tecnologia e das sociedades no século passado e a obrigação das companhias do sector eléctrico em servirem adequada e indiscriminadamente, a preços justos e acessíveis e com qualidade de serviço, qualquer consumidor, levaram a que o desenvolvimento dos Sistemas de Energia Eléctrica se orientasse no sentido da construção de grandes centros produtores de energia que era depois transportada e distribuída até aos pontos de procura locais. A preocupação principal no funcionamento dos SEE era a garantia do abastecimento de forma continuada, com a qualidade e fiabilidade requeridas e a preços adequados, através de uma constante adaptação da oferta à procura [1], devendo o planeamento assegurar continuamente uma adequada capacidade do sistema relativamente à evolução da procura.

Habitualmente, as empresas operavam no sector eléctrico em regime de monopólio e com uma estrutura vertical, boa parte das vezes desde a produção até à entrega aos consumidores finais, passando pelo transporte e pela distribuição. Na formação dos custos de fornecimento entravam factores como custos de capital, de operação e manutenção, de matéria-prima (fontes primárias), disponibilidade de renováveis (hídrica), nível da procura e perdas de energia no sistema, entre outros. Apesar de, pelo menos, os custos com os combustíveis poderem variar frequentemente e independentemente do regime jurídico das empresas, tipicamente o estabelecimento dos preços de venda aos clientes finais fazia-se de forma a passar os custos médios de fornecimento aos consumidores numa base temporal não inferior a um ano. Mesmo as chamadas tarifas variáveis com a hora do dia reflectiam custos médios nos diferentes períodos horários. Neste cenário, as variações de custos, quer diárias quer sazonais, com o fornecimento de energia eram passadas aos consumidores sem que estes se apercebessem em tempo real dessas variações.

A alteração dos preços das matérias-primas levou a que na optimização do funcionamento dos SEE se visse a procura como uma componente com alguma capacidade de reagir a estímulos no sentido de alterar quer a sua forma, quer a sua amplitude. Apesar de, desde a década de oitenta, se fazerem esforços para conceber e implementar medidas promovendo a alteração dos padrões da procura visando o funcionamento óptimo dos SEE, esta foi quase sempre vista como uma variável não controlável ou então avaliada isoladamente, sem grande impacto ao nível do planeamento e funcionamento dos sistemas.

A crescente electrificação das nossas sociedades, cada vez mais urbanas, também se prende com as características da própria energia eléctrica, nomeadamente:

- a relativa facilidade de transporte e de obtenção a partir de outras fontes;
- a sua flexibilidade de conversão em trabalho útil;
- o facto de "não ser poluente de uma forma visível" ao nível da utilização final.

Outra das suas características é não ser técnica e economicamente viável, por enquanto, o seu armazenamento em grandes quantidades. A constante necessidade de satisfação da procura implica então um contínuo equilíbrio entre a produção e a procura (mais perdas) devendo os SEE, ser dimensionados para satisfazer a procura máxima, ainda que tal possa ocorrer apenas durante algumas horas ou mesmo minutos durante o ano.

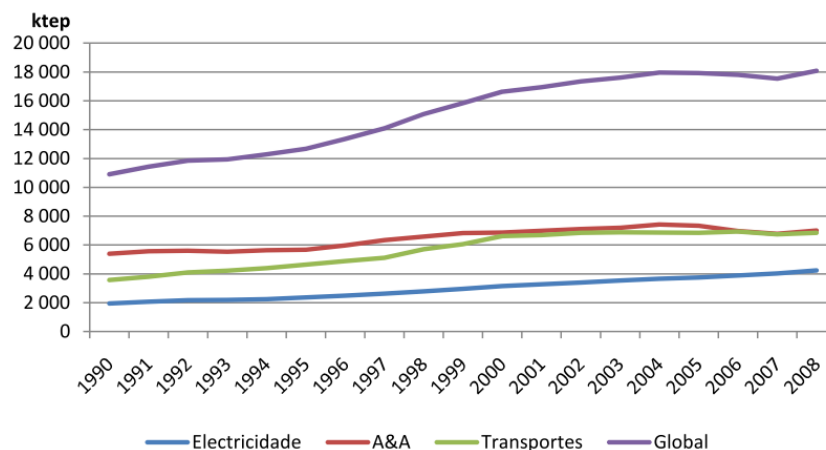
As pressões e preocupações ambientais, a questão da volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis, a forte dependência externa bem como o contínuo crescimento do consumo de energia (Figura 1), associados ao desenvolvimento tecnológico de novos grupos geradores, mais eficientes e mais baratos, impulsionaram a evolução dos SEE no sentido da produção distribuída. Este tipo de produção, ao ser injectada mais próximo dos centros de carga, contribui para uma redução das perdas, além de, no caso das fontes renováveis, contribuírem ainda para a diminuição da dependência externa, diminuindo os desequilíbrios na balança de pagamentos.

Nota: A&A - Aquecimento e Arrefecimento

Figura 1: Consumo de energia final em Portugal entre 1990 e 2008 [2]

No entanto, a aposta nas energias renováveis, nomeadamente na solar e eólica impõe a necessidade de lidar com a sua variabilidade. Esta necessidade é tão mais premente quanto maior a taxa de penetração destes recursos.

Outro aspecto que tem despertado muito interesse, em termos de investigação e estudos de campo, é a gestão da procura, à qual é atribuído um papel muito mais interventivo no

funcionamento dos sistemas aumentando a necessidade de comunicação e análise de dados e informação. Assiste-se, assim, a uma alteração de paradigma ao nível dos SEE: por um lado, a descentralização da produção e o recurso a fontes primárias alternativas, principalmente renováveis, e, por outro lado, a alteração do tradicional papel passivo das redes [3 -5].

O forte desenvolvimento das tecnologias da informação e da comunicação (TIC), nomeadamente das tecnologias de medição, monitorização e controlo, tornou possível a aposta no conceito de redes inteligentes (*smart grids*). As *smart grids* surgem como resultado de uma cada vez maior integração das TIC nos SEE permitindo integrar os recursos existentes no lado da procura na gestão do sistema, optimizar a gestão dos SEE, melhorando a segurança do sistema e potenciando a utilização de energia proveniente de fontes renováveis [6]. A base tecnológica das *smart grids* assenta na comunicação entre a rede e os vários equipamentos e nos sensores que permitem a recolha de informação sobre o estado de cada componente, desde os equipamentos do lado da procura, às fontes de produção descentralizada passando pelos sistemas de armazenamento e a identificação de eventuais falhas na rede.

Neste cenário, tem de ser considerada a procura controlável, a produção centralizada/ convencional, a produção dispersa/renovável e o armazenamento, sendo necessários dispositivos, sistemas e algoritmos para uma gestão optimizada dos vários recursos energéticos que

- mantenham os níveis de conforto e a qualidade do serviço de energia minimizando os custos para o consumidor final;
- permitam a optimização da operação do sistema ou da comercialização da mercadoria energia eléctrica.

Para o desenvolvimento desse sistema de gestão, é importante conhecer as características quer das fontes alternativas de energia, quer dos recursos existentes no lado da procura, identificando usos finais (Figura 2) potencialmente controláveis, restrições operacionais e eventuais preferências dos utilizadores, bem como as tecnologias de armazenamento de energia disponíveis. O passo seguinte consiste no desenvolvimento de algoritmos de gestão baseados na informação previamente recolhida incluindo o modo de funcionamento dos diferentes equipamentos e as suas características, para além de informação como preços e necessidades em termos de consumo.

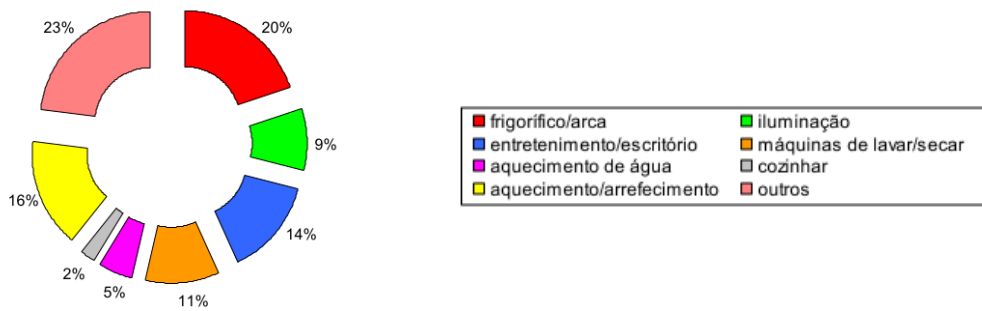



Figura 2: Contribuição de alguns usos finais para o consumo no sector residencial [7]

No que diz respeito às fontes de energia renováveis, é necessário ter em conta a sua variabilidade. Convém assinalar, por exemplo, que uma parte substancial da geração eólica ocorre em horas em que o consumo de energia é baixo e vice-versa. Na Figura 3 verifica-se que à medida que a temperatura aumenta, o consumo de energia eléctrica aumenta sobretudo devido ao uso de sistemas de ar condicionado [8] podendo a produção eólica diminuir eventualmente nesse período [9, 10]. Neste contexto, o uso de um sistema de gestão integrada dos vários recursos pode permitir a reparametrização dos sistemas de ar condicionado, mitigando os efeitos indesejáveis da variabilidade associada à produção eólica [11].

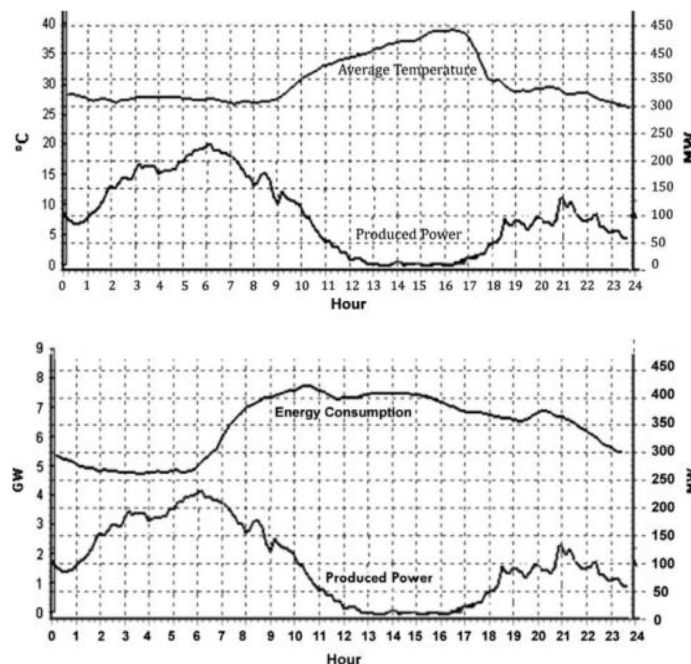



Figura 3: Produção eólica vs. Temperatura e vs. Consumo de energia em Portugal num dia típico de Verão [11]

3. Utilização Racional de Energia e Gestão da Procura

Inicialmente, a questão da conservação da energia e do seu uso racional foi fortemente motivada pelas crises petrolíferas e pelas preocupações com a segurança de abastecimento. Já mais recentemente, preocupações adicionais como a sustentabilidade e os impactos ambientais vieram sublinhar também a necessidade da promoção da eficiência energética [12]. Há, todavia, um aspecto que se mantém comum ao longo do tempo, que é o interesse na redução de custos de fornecimento e dos encargos com a aquisição da energia.

A questão da sustentabilidade ambiental está relacionada com os impactos resultantes da exploração, transformação, transporte e utilização da energia. A utilização desempenha, nesse contexto, um papel importante na medida em que determina as quantidades de energia produzida e consumida e, de certa forma, a "extensão" dos impactos.

A utilização racional de energia eléctrica (URE) é uma questão estratégica que pode levar não só a reduções no consumo de electricidade mas também à redução das emissões poluentes que estão associadas à conversão de energia, bem como ao adiamento da necessidade de investimento no aumento de capacidade do SEE. A URE posiciona-se, assim, como instrumento, provavelmente único, capaz de contribuir para:

- uma redução da dependência energética do exterior e aumento da segurança no abastecimento;
- o aumento da competitividade da economia nacional;
- o cumprimento dos objectivos da política ambiental do país.

A utilização eficiente de electricidade tem vindo a ser promovida recorrendo a, por exemplo, programas desenvolvidos pelas empresas distribuidoras designados por programas de Gestão da Procura - *Demand Side Management* (DSM). Estes programas visam influenciar o modo como o consumidor usa a energia eléctrica, de forma a produzir alterações nos diagramas de carga, nomeadamente reduzindo picos e preenchendo vales (Figura 4 e Tabela 1).

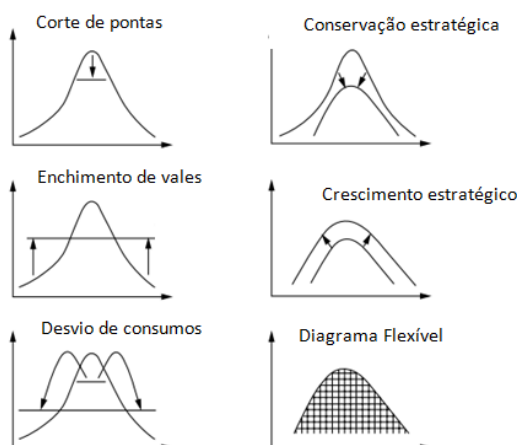



Figura 4: Estratégias de controlo de cargas [13]

Tabela 1: Descrição das estratégias de controlo de cargas [14]

Objectivos das estratégias de DSM	Descrição
Desvio de consumos	Obtido usualmente através de tarifas variáveis com a hora do dia e/ou por promoção de dispositivos de armazenamento térmico.
Corte de pontas	Normalmente obtido por controlo directo de cargas do consumidor e/ou por estímulos tarifários.
Enchimento de vales	Estímulo ao uso de energia eléctrica nos períodos de vazio (por exemplo, armazenamento de energia térmica).
Crescimento Estratégico	Procura estimular novas utilizações para a energia eléctrica, conquistando porventura mercado a outros combustíveis, através da promoção de equipamento eficiente.
Diagrama Flexível	Obtém-se com uma procura reactiva[1], que se consegue com estímulos tarifários adequados, por exemplo, potência interruptível, *peak price*, RTP (*Real Time Pricing*)
Conservação Estratégica	Incentivos a utilização mais eficiente de energia (por exemplo, através de equipamentos mais eficientes)

Este tipo de programas, geralmente suportados quer por regulação, quer por estímulos tarifários para as operadoras, é normalmente aplicado não só devido ao potencial interesse económico, mas também à potencial contribuição que pode dar para a diminuição das emissões, preservação dos recursos questões de fiabilidade, entre outros (Figura 5) [15].

[1] Procura que se altera reagindo a sinais, tais como estímulos tarifários e incentivos.

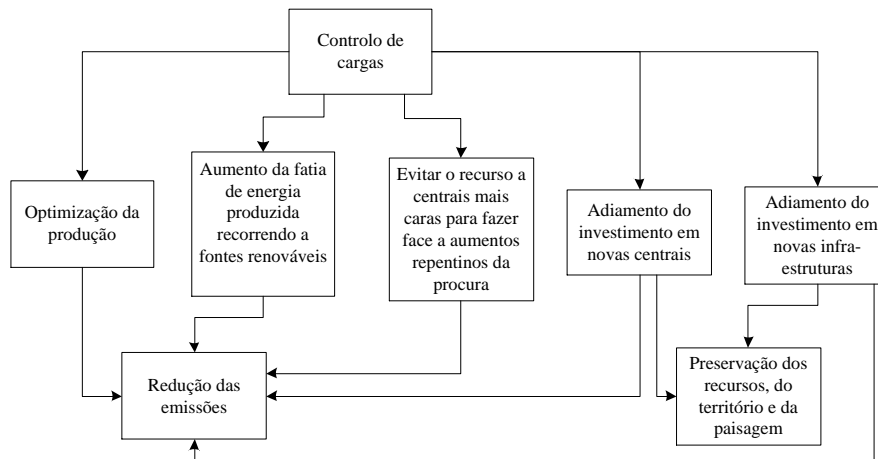



Figura 5: Influência das estratégias de controlo de cargas [16]

De modo a promover alterações nos padrões dos consumos é necessário, por um lado, identificar as cargas que podem ser usadas nesse tipo de acções e, por outro lado, que tipo de acção pode ser usado em cada carga. Sistemas de aquecimento eléctrico de água, ar condicionado, aquecimento ambiente eléctrico e frigoríficos, no caso do sector residencial [17, 18], são exemplos de cargas que podem ser alvo de medidas de controlo/desvio/reparametrização. Outras cargas como os sistemas audiovisuais e a iluminação não são candidatas a estas estratégias, uma vez que o seu uso se prende com o bem-estar dos consumidores naquele momento.

Assim, cargas a que esteja associada alguma capacidade de armazenamento de energia e em que exista uma dissociação entre o consumo de energia e a utilização dos serviços de energia associado à carga (caso dos termoacumuladores e dos equipamentos de frio), ou cargas cujo funcionamento possa ser alterado sem degradação da qualidade do serviço fornecido (caso das máquinas de lavar e secar) são cargas que se prestam a ser controladas, podendo então o seu normal regime de funcionamento ser alterado. Dependendo da maior ou menor dissociação entre o consumo de energia e a utilização dos serviços de energia prestados pelas cargas assim se podem aplicar diferentes estratégias de controlo:

- sistemas de ar condicionado e termoacumuladores podem ser reparametrizados para outra temperatura ou mesmo interrompidos por um curto intervalo de tempo;
- equipamentos de frio podem ver o seu funcionamento interrompido por breves minutos (controlo directo) sem degradarem a qualidade do serviço ou mesmo ter a temperatura reparametrizada;
- as máquinas de lavar e secar podem ter o seu funcionamento antecipado ou adiado por várias horas.

Uma das maiores barreiras na alteração da procura por parte dos consumidores prende-se essencialmente com a pouca visibilidade, por grande parte dos consumidores, da variação dos custos de satisfação da procura. A adesão dos consumidores a este tipo de programas pode ser potenciada se o consumidor não sentir um decréscimo significativo da qualidade do serviço prestado e se, por outro lado, o consumidor obtiver uma diminuição da sua factura de energia eléctrica e tiver a percepção que o seu papel enquanto utilizador dos serviços de energia é primordial para a determinação dos consumos, impactos ambientais e dependência externa. Note-se que a não coincidência total entre utilização dos serviços de energia fornecidos por algumas cargas e o consumo de energia da carga em questão permite antever a possibilidade de controlar o consumo de energia dessas cargas sem degradar significativamente a qualidade do serviço prestado.

3.1. Demand Side Management

O DSM foi definido inicialmente por Gellings, em 1985, como o planeamento e implementação das actividades concebidas para influenciar o uso que o consumidor faz da electricidade, de forma a produzir os efeitos referidos na Tabela 1 no diagrama de carga da operadora [13, 19]. Todavia, actualmente existe um leque diversificado de potenciais interessados neste tipo de actividades, a começar pelas operadoras, pelos comercializadores, agregadores e consumidores.

Os objectivos dos programas que cabem no âmbito do DSM incluem (Figura 6):

- aposta na eficiência energética – uso de menor quantidade de energia mantendo ou inclusive melhorando a qualidade de serviço e os níveis de conforto;
- conservação estratégica – redução do uso de energia, com possíveis influências no conforto dos consumidores;
- gestão da procura (*demand response*)– alterações no uso de energia eléctrica pelos consumidores finais e que se pode traduzir no diferimento, antecipação, interrupção e reparametrização de cargas.

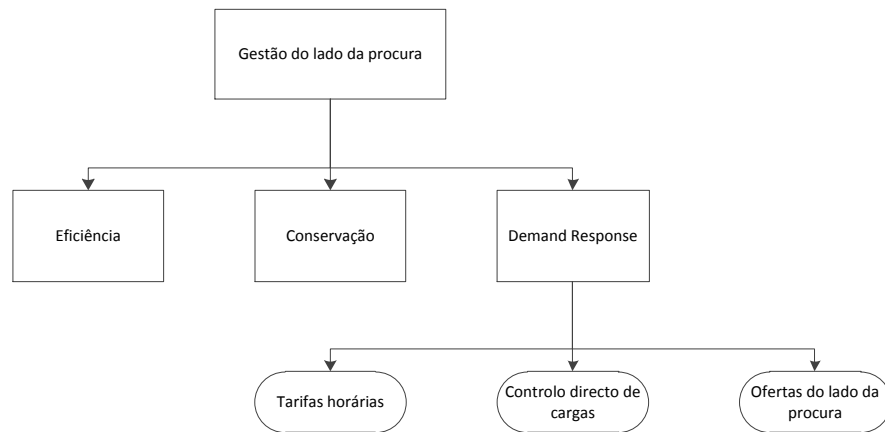



Figura 6: Estratégias de DSM [17]

O *Demand Response* está directamente relacionado com a capacidade dos consumidores de energia eléctrica responderem de modo automático a sinais para alterarem a sua procura, tais como a variação dos preços e sinais de emergência. Essa alteração pode passar pelo desvio do funcionamento de algumas cargas para outros períodos, pela interrupção do funcionamento de algumas cargas e o ligar de outras ou pela alteração de parâmetros que definem o estado de algumas cargas. Como já foi referido anteriormente, uma das maiores barreiras a uma maior pró-actividade da procura foi a pouca visibilidade, por grande parte dos consumidores, da variação dos custos de satisfação da procura. Todavia, numa situação em que tal barreira não se faça sentir de forma tão intensa e tendo os fornecedores flexibilidade para aumentar ou reduzir os preços de acordo com vários factores que influenciam os custos totais da energia ao longo do tempo, os consumidores têm estímulos para reagirem de modo a contrariar essas variações de preços. Podem, por exemplo, como forma de resposta, ajustar o seu consumo ou procurar alternativas de fornecimento de energia, tal como sistemas de armazenamento ou fontes de produção locais.

No âmbito dos programas de *Demand Response* surgem os programas de controlo de cargas ou limitadores de procura que têm como objectivo alterar os padrões de consumo dos consumidores recorrendo geralmente a soluções tecnológicas. Estas soluções podem incluir sistemas de controlo, interruptores horários ou qualquer outro tipo de *hardware* que permita a modificação do consumo sem necessidade da intervenção do consumidor.

Inicialmente recorria-se aos programas de controlo de carga em situações de emergência [20], enquanto que com o passar do tempo a atenção se foi concentrando também numa utilização mais flexível dos recursos do lado da procura.

O modo de implementação destes programas, a selecção das cargas a controlar, o estabelecimento de modelos adequados e das estratégias de controlo têm estado na base de

vários estudos [21-23]. A avaliação dos impactos dos programas de controlo de cargas tem revelado particular importância, uma vez que permite a identificação de eventuais falhas na implementação das medidas para além da verificação dos custos associados.

A participação activa do consumidor em programas de gestão do lado da procura, seja em resposta a sinais de preços, esquemas tarifários mais detalhados, incentivos diversos, ou a uma maior sensibilização ou sentido de responsabilidade por parte do consumidor, têm ultimamente tido grande desenvolvimento. Tipicamente este tipo de acções é dividido em duas categorias, consoante sejam incentivados por:

- preços variáveis com a hora do dia (programas baseados no período horário - *time based programs*) não existindo outros estímulos;
- estímulos que são dados se o consumidor reagir a alguns sinais e alterar o seu consumo (programas baseados em incentivos - *incentive based programs*) (Figura 7).

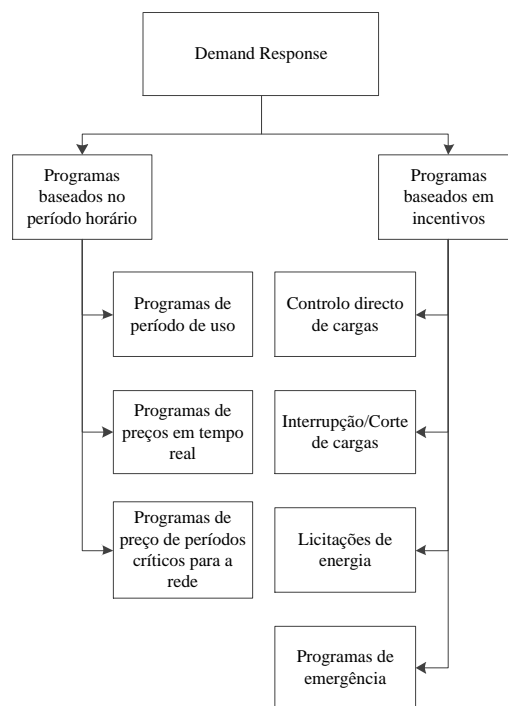



Figura 7: Planeamento dos programas de *demand response* [24]

Nos programas baseados em preços variáveis com a hora do dia os estímulos são dados directamente pelos sistemas tarifários. Talvez o exemplo mais implementado seja o das tarifas baseadas no período de uso. A existência para alguns consumidores de *day-ahead pricing* é já uma realidade e a sua disponibilização a mais consumidores pode estar para breve, pelo que este tipo de programas vai continuar a ser um dos principais instrumentos para estimular alterações no lado da procura.

No caso dos programas baseados em incentivos, existem alternativas voluntárias (controlo directo de cargas, programas de emergência) sem penalizações para o consumidor e programas em que estão previstas penalizações para os consumidores no caso de as reduções de potência pedida à rede não serem de acordo com o contratualizado (interrupção/corte de cargas, licitações de energia). A grande diversidade de programas leva que a sua utilidade seja avaliada a diferentes escalas de tempo de acordo com o tipo de programa (Figura 8).

Alguns desses programas (controlo directo, ininterruptibilidade, emergência), podem ser usados como resposta a questões de fiabilidade do SEE, ou a picos de preços, estando disponíveis num curto espaço de tempo. Há outros cujos impactos são duradouros (programas de promoção da eficiência energética) e que podem ter consequências no planeamento dos sistemas de energia.

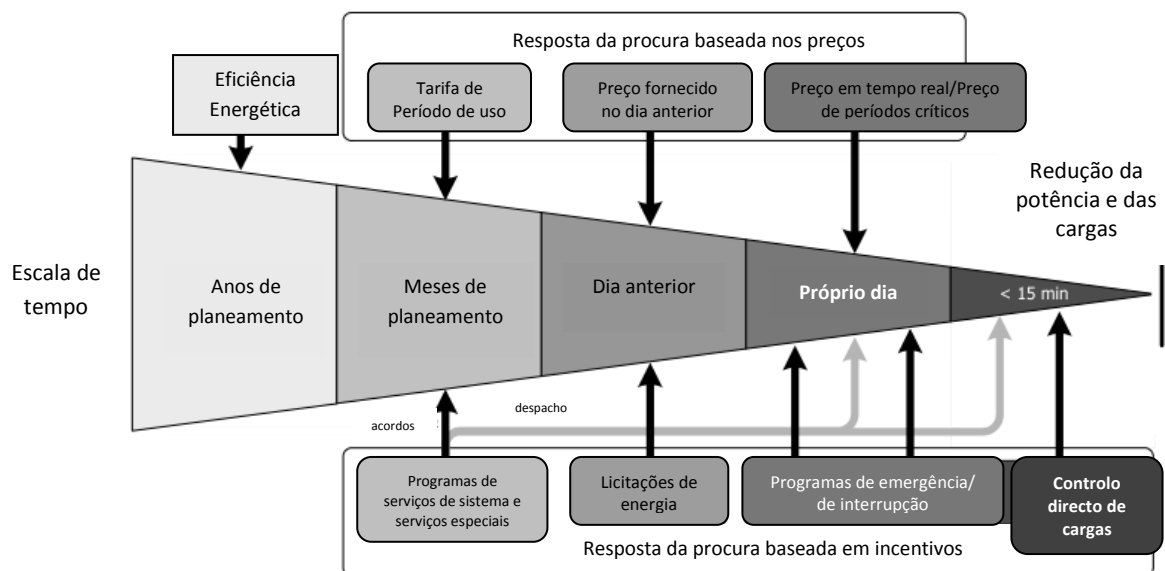



Figura 8: Impacto temporal dos programas de *demand response* [25]

Alguns dos benefícios dos programas de *demand response* segundo três pontos de vista são:

- Consumidor
  - diminuição dos custos com a aquisição de energia, consequência da redução da procura em certos períodos do dia em virtude dos estímulos recebidos, por exemplo.
- Mercado
  - redução do preço do kWh como resultado de uma utilização mais eficiente das infra-estruturas disponíveis, incluindo a minimização da entrada ao serviço de unidades de produção com custos elevados;

- possibilidade dos consumidores controlarem os seus consumos influenciando de certo modo os mercados e melhorando a concorrência;
    - redução da volatilidade dos preços no mercado *spot*[2].
- Sistemas de energia
    - possibilidade do aumento da capacidade a curto prazo uma vez que os picos de procura diminuem;
    - adiamento da necessidade de investimento em novas infra-estruturas e centrais de produção;
    - diminuição da probabilidade de ocorrência de interrupções na rede devido à diminuição dos picos e à participação activa dos consumidores;
    - maior diversidade de fontes de produção de energia eléctrica para assegurar a fiabilidade do sistema.

3.1.1. Load Response

Os programas de *load response* são dirigidos pelo operador responsável pela gestão de cargas e respondem a pedidos de redução de carga não existindo praticamente intervenção por parte do consumidor [14], conforme se pode ver na Tabela 2.

Tabela 2: Programas de *load response* [11]

Programa	Descrição
Controlo directo de cargas	Consumidores elegíveis: residenciais e pequenos comerciais/serviços Equipamentos a controlar: climatização e de AQS Modo de controlo: dispositivos que actuam directamente sobre as cargas (podem ser usados termóstatos)
Corte do serviço	Consumidores elegíveis: grandes consumidores comerciais e industriais Equipamentos a controlar: ar condicionado, ventilação, aquecimento e arrefecimento de processos, operações de compressão e trituração, iluminação não essencial, etc. Modo de controlo: aviso com uma antecedência de 30 minutos a 2 horas
Interrupção do serviço	Consumidores elegíveis: geralmente consumidores industriais que podem ter o seu consumo interrompido

[2] Mercado onde se negoceia a energia eléctrica para entrega imediata, em contraste com os mercados onde se negoceia para entrega futura.

	Equipamentos a controlar: grande quantidade de carga para interrupção Modo de controlo: sendo a participação obrigatória, pode ser exigida a qualquer altura a interrupção do consumo

3.1.2. Price Response

Por seu lado, os programas de *price response* dependem de acções voluntárias levadas a cabo pelos consumidores em função de sinais económicos (por exemplo, preços variáveis no tempo). Em concreto, pode-se assinalar as tarifas bi/tri/tetra-horárias e os preços em tempo real para alguns clientes comerciais e industriais [14].

Tabela 3: Programas de *price response* [11]

Programa	Descrição
Programas de Emergência	Consumidores alvo: grandes clientes comerciais e industriais Aplicabilidade: geralmente aplicados em situações de emergências (por exemplo: questão da fiabilidade do sistema) Contra-partidas monetárias: pagamento variável baseado no preço marginal ou um elevado pagamento mínimo; pagamento fixo pela participação
Programas Económicos	Consumidores alvo: grandes clientes comerciais e industriais Operacionalidade: os consumidores podem ter um preço já proposto ou então oferecer reduções de carga dependendo dos preços do dia seguinte; existe também essa possibilidade para o próprio dia, podendo no entanto a entidade gestora aceitar ou não a redução de carga proposta Contra-partidas monetárias: os participantes podem exigir um número mínimo de horas de operação e receber custos de arranque; aos participantes esporádicos pode ser paga uma compensação (mínimo: custo marginal; máximo: valor da factura mensal)
Preços de tempo real	Consumidores alvo: clientes comerciais e industriais com a possibilidade de reduzir ou comutar cargas Operacionalidade: os sistemas de medição avançados possibilitam a consulta do consumo de energia em tempo real e dos preços para o dia seguinte permitindo aos gestores dos sistemas a alteração ou manutenção das operações planeadas

	Contra-partidas monetárias: o ajuste das cargas em função das tarifas permite tirar partido das taxas mais elevadas ou mais reduzidas; as tarifas são acordadas entre ambas as partes, e estabelecem um uso base de energia para cada hora do ano com base no uso histórico e sujeito a ajustamentos
Tarifa de período de uso	Consumidores elegíveis: residenciais, comerciais ou industriais Operacionalidade: a participação pode ser voluntária ou obrigatória, sendo instalados contadores para medir o consumo nos diferentes períodos do dia, variando a tarifa de acordo com o período do dia, dia da semana e época do ano; o consumidor tem conhecimento das tarifas de modo a poder adaptar o seu consumo

4. Consumo de energia eléctrica no sector residencial

A possibilidade de usar parte da procura residencial de uma forma pró-activa, em termos de reacção a estímulos diversos, associada à grande diversidade de cargas de utilização final e às diferentes alternativas em termos de acções práticas a implementar impõe a caracterização detalhada dos diversos usos finais, a começar pela sua contribuição para o consumo do sector, potencias envolvidas, regimes de funcionamento típicos, restrições técnicas e/ou outras, nomeadamente relacionadas com eventuais preferências do consumidor. Na Figura 9 apresenta-se a contribuição dos principais usos finais para o consumo no sector residencial.

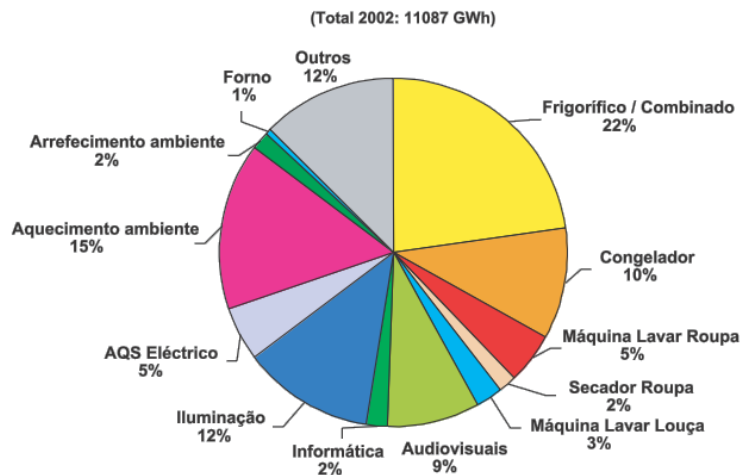



Figura 9: Repartição dos consumos de electricidade pelos diferentes usos finais – dados de 2002 [22]

Na Figura 9 pode verificar-se que alguns dos usos finais que poderão ser alvo de acções de gestão da procura, conforme será abordado nos próximos capítulos, são também das principais contribuições para o consumo residencial: frio alimentar, AQS eléctrico, condicionamento ambiente e máquinas de lavar. Estas utilizações finais perfazem cerca de 64% do consumo residencial, o que, considerando a sua flexibilidade de controlo e levando também em conta as taxas de posse dos diferentes equipamentos, dá uma ideia do grande potencial de gestão da procura que existe neste sector.

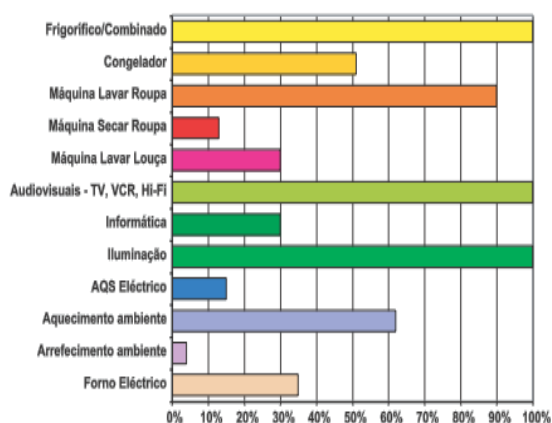
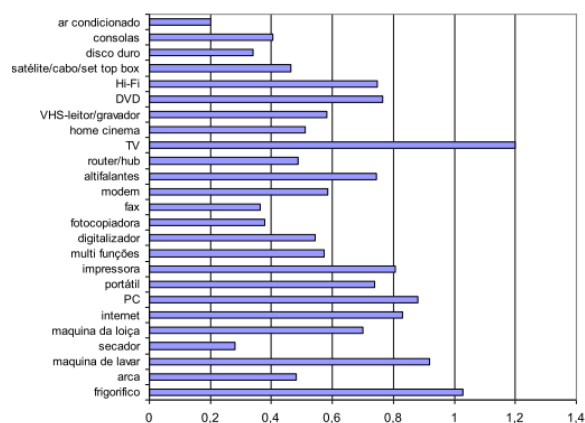
A estrutura dos consumos eléctricos é justificada também pela Figura 10, onde se encontra apresentada a taxa de posse dos equipamentos por habitação segundo dados do projecto Remodece e do INE (Instituto Nacional Estatística).

dados de 1997 [22] dados de 2005 [26]

Figura 10: Taxa de posse dos equipamentos

A repartição dos consumos apresentados na Figura 9 tem vindo a alterar-se ao longo do tempo devido:

- à maior presença de equipamentos eléctricos;
- à introdução de novos equipamentos (sistemas de ar condicionado, máquinas de lavar e secar, equipamento informático e audiovisual, etc.);
- à duplicação de equipamentos com o mesmo fim (televisões, equipamentos de frio).

Convém ainda assinalar que, durante grande parte de tempo, o consumo de energia no sector residencial é baseado em rotinas e hábitos sendo, de certa forma, pouco perceptível o consumo em termos de quantidade física de energia eléctrica [27]. O perfil de utilização de energia eléctrica por parte do consumidor residencial depende de simples comportamentos, tais como:

- o ligar e desligar de luzes quando se sai de uma divisão;
- o desligar das televisões e outros aparelhos em vez do recurso ao *standby*;
- o hábito de ligar a televisão só para "companhia";
- o ajuste da temperatura nos aparelhos de aquecimento/arrefecimento;
- o modo de utilização das máquinas de lavar e secar;
- a duração dos banhos (com implicação na energia gasta para aquecer a água);
- o desligar de carregadores de pilhas, telemóveis, etc [28].

Para além dos hábitos e rotinas, o comportamento dos consumidores é também fortemente influenciado:

- pelas restrições económicas;
- pelos incentivos económicos;

- pelo grau de consciencialização e o conhecimento em relação ao uso racional de energia;
- pela noção de que alteração de hábitos não implica deixar de usar determinados aparelhos nem a perda de qualidade de vida;
- pela facilidade e vontade de adoptar novos comportamentos.

Mas se, por um lado, o comportamento dos consumidores está estritamente relacionado com a capacidade de assegurar o sucesso de medidas de promoção da eficiência energética e consequente diminuição das emissões de GEE, por outro, as próprias medidas e políticas e os programas de utilização racional de energia devem ambicionar conseguir mudar esses mesmos comportamentos e hábitos (Figura 11).

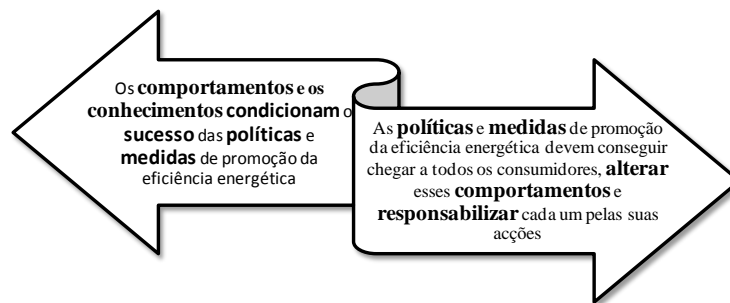



Figura 11: Os dois lados do factor comportamental

4.1. Caracterização de diferentes cargas

A diversidade de características e modos de utilização de cargas permite a implementação de medidas que resultam em diferentes alterações no seu normal funcionamento, exigindo para isso a análise de restrições, quer em termos de qualidade de serviço fornecido, quer em termos de ciclos de funcionamento.

Pode afirmar-se que existem determinadas cargas no sector residencial que devido às suas características de funcionamento e de consumo de energia são mais adequadas a serem desligadas por breves instantes, outras mais adequadas a desvios de consumos, outras à alteração dos parâmetros de funcionamento e outras que permitem um misto de acções. Algumas dessas características prendem-se com a existência de uma constante de tempo elevada (a variável de estado controlada pelas carga varia lentamente no tempo), funcionamento não contínuo e tipo de controlo local.

A Figura 12 apresenta a estrutura do diagrama de carga horário no sector residencial. Apesar de serem de duas fontes diferentes e para anos distintos, nestes diagramas é possível identificar a contribuição das diferentes cargas para a procura média global, identificando-se,

nomeadamente, a contribuição dos equipamentos de frio e termoacumuladores e o uso de máquinas de lavar roupa, louça, equipamentos audiovisuais e informáticos.

Esta informação é muito importante, pois ao identificar a contribuição média de cada carga permite direccionar as acções de gestão mais adequadas a cada uma das cargas no intervalo de tempo mais promissor em termos de potencial de acções (desligar, desviar, reparametrizar, não controlar).

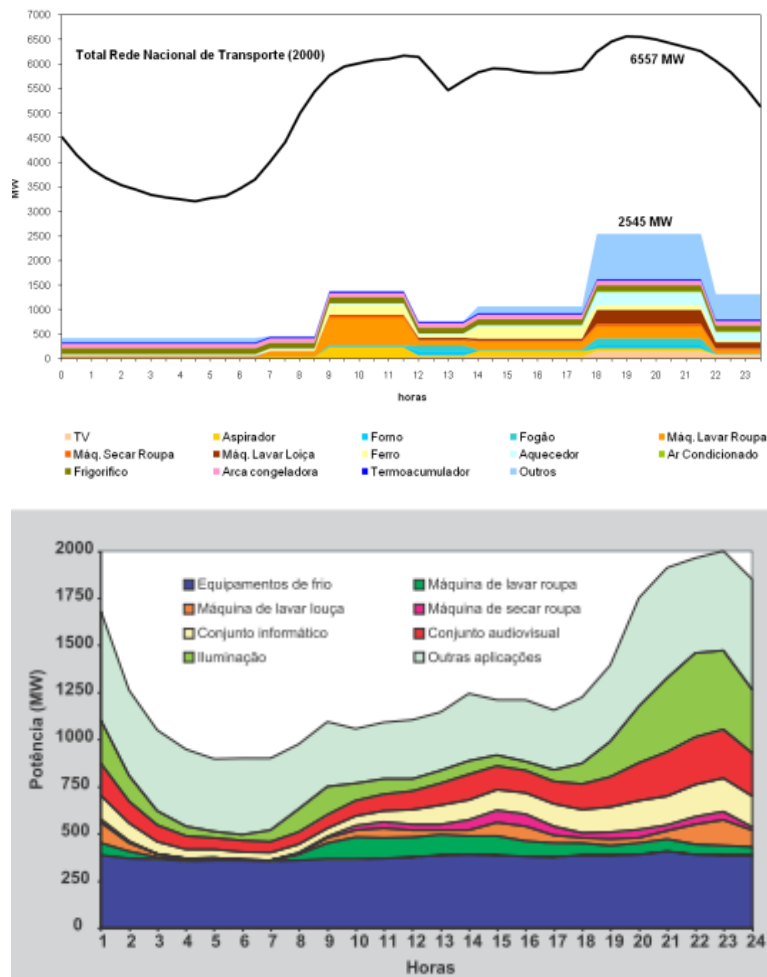



Figura 12: Estrutura do diagrama de carga horário no sector residencial desagregado segundo a EDP (2002) e a DGGE (2004) [29, 22]

Neste capítulo serão caracterizadas as cargas que mais se adequam a acções de desvio ou que, pelas suas características, podem ser de algum modo controladas de modo automático, não havendo, por isso, uma caracterização exaustiva de todas as cargas usadas neste sector. São, no entanto, também referidos os conjuntos audiovisuais e informáticos devido ao consumo em *standby* que apresentam.

4.1.1. Termoacumuladores

Neste subcapítulo serão abordados os termoacumuladores eléctricos que de acordo com alguns estudos, podem ser vistos como um recurso controlável, encontrando-se os sistemas que possuem maior possibilidade de serem interrompidos [5, 30]. Esta versatilidade prende-se com uma constante de tempo elevada, tornando-a um alvo potencial para qualquer um dos tipos de acção passível de implementar ao nível residencial: desligar; desvio; alteração da parametrização.

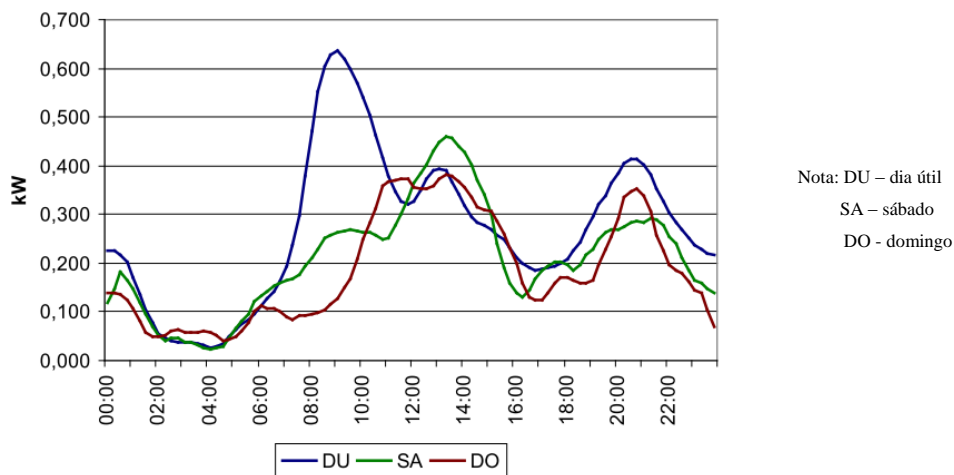



Figura 13: Diagrama diário médio de 19 termoacumuladores [31]

O aquecimento de águas tem vindo a ser feito recorrendo, maioritariamente, a esquentadores ou termoacumuladores eléctricos. Outra forma de aquecimento de águas consiste no uso de colectores solares (Capítulo 6.1.2), o que permite poupanças significativas em combustível / energia eléctrica, além de possibilitar alguma flexibilidade em termos de gestão de carga, nomeadamente em termos de parametrização dinâmica do termóstato.

4.1.2. Equipamentos de frio

Os equipamentos de frio, tais como frigoríficos, arcas congeladoras, combinados, são responsáveis por cerca de 20% do consumo típico de energia eléctrica no sector residencial, sendo a taxa de posse dos frigoríficos e combinados acima de 100%, o que significa que, em média, em todas as habitações existe pelo menos um frigorífico, e das arcas congeladoras de 50% segundo os dados de 2005 [26].

Tipicamente, estas cargas apresentam um regime de funcionamento cíclico determinado por um termóstato, apresentando características que permitem a gestão do seu funcionamento como, por exemplo, a sua interrupção por um determinado período de tempo, sem

deterioração do serviço prestado, uma vez que a operação a 6ºC ou 4ºC não influencia a conservação dos alimentos, mas sim o consumo de energia [32].

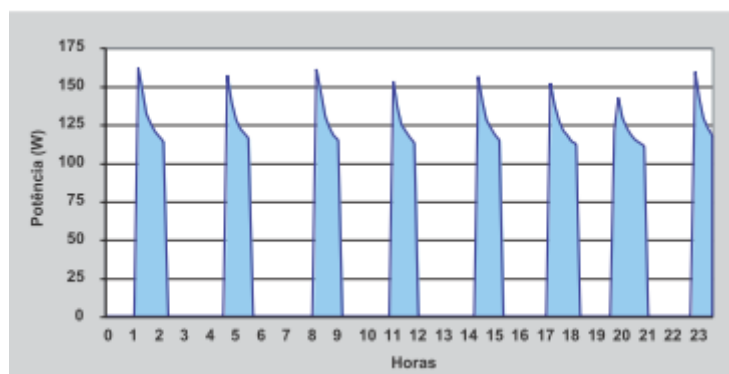



Figura 14: Perfil de funcionamento de um combinado [22]

Actualmente, começam também a aparecer no mercado os frigoríficos "americanos" que possuem potências muito elevadas quando se usam determinadas funções extra (Figura 15), mas que, por enquanto, não são em número significativo nos lares portugueses.

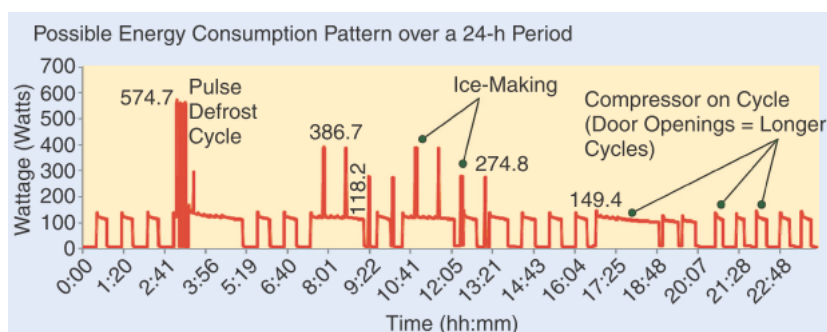



Figura 15: Perfil de funcionamento de um frigorífico americano [33]

Os frigoríficos e as arcas congeladoras funcionam como um sistema de armazenamento de frio, pelo que a interrupção do seu ciclo de funcionamento em cerca de 15 minutos não irá provocar um aumento da temperatura muito significativo nem a deterioração dos alimentos [34].

Apesar de poder ser argumentado que a potência pedida à rede por estes equipamentos é relativamente baixa, o facto de se encontrarem ligados durante 24 horas mostra que o seu consumo passa a ser significativo, especialmente quando se pretende identificar cargas com potencial para serem controladas em situações de necessidade (Figura 16). Este controlo deve respeitar as variações de temperatura que são possíveis sem causar a deterioração dos alimentos e, como consequência, o tempo máximo que podem estar desligados e o tempo

mínimo durante o qual devem estar ligados para regular a temperatura para um valor aceitável [34].

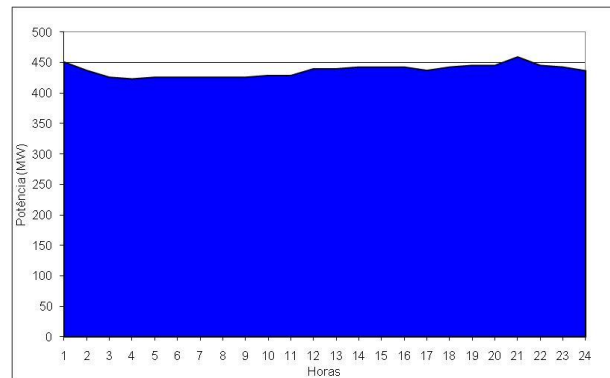



Figura 16: Diagrama de carga médio dos equipamentos de frio

4.1.3. Máquinas de lavar roupa

As máquinas de lavar roupa apresentam uma taxa de posse de cerca de 90% em Portugal [22] e representam cerca de 5% do consumo total de electricidade [22, 26], mas apresentam uma certa limitação em relação ao seu uso poder ser adiado ou antecipado. Essa restrição prende-se com o facto dos consumidores não aceitarem bem o facto de a roupa lavada ficar dentro das máquinas por mais do que um determinado período de tempo, de não lhes agradar o facto de deixar o equipamento a trabalhar sem qualquer supervisão durante a noite devido a possíveis inundações e ainda a um possível incómodo causado pelo ruído [35].

Um ponto a considerar tendo em vista a generalização da utilização de programas de gestão destas cargas é precisamente as horas a que a máquina deve terminar o seu ciclo e, da parte dos fabricantes, algum tipo de sistema contra inundações ou de alarme nessas situações.

No ciclo de funcionamento de uma máquina de lavar roupa, a electricidade consumida está associada às acções mecânicas (rotação do tambor, enxaguamento, bombas de circulação da água) e à acção térmica para aquecimento da água por resistência eléctrica, que constitui 80-90% do consumo total de energia de um ciclo de lavagem. Também o programa e a temperatura de lavagem escolhidos influenciam o consumo de energia, conforme se pode ver na Figura 17.

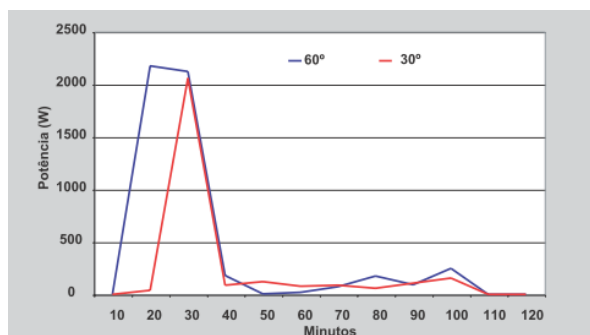



Figura 17: Ciclo típico de uma máquina de lavar roupa [22]

Apesar de já existirem equipamentos com a possibilidade de serem alimentadas com água quente, proveniente de outros sistemas de aquecimento (por exemplo, sistema solar térmico) permitindo a redução significativa do consumo de energia eléctrica, ainda não são usados em grande escala.

A Figura 18 permite a identificação dos períodos do dia em que estas cargas mais contribuem para o consumo. Cruzando essa informação com a estrutura do diagrama de carga horário apresentado na Figura 12, é possível antever para quando o seu funcionamento pode ser reagendado de modo a não contribuir para os picos de consumo.

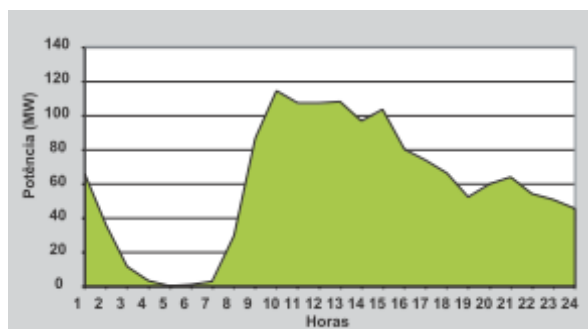



Figura 18: Diagrama de carga médio das máquinas de lavar roupa [22]

4.1.4. Máquinas de secar roupa

A taxa de posse das máquinas de secar roupa em Portugal é relativamente baixa (cerca de 13%) e são geralmente usadas após o final do ciclo de lavagem das máquinas de roupa (Figura 19), sendo a maior parte da energia eléctrica consumida no processo de aquecimento (Figura 20).

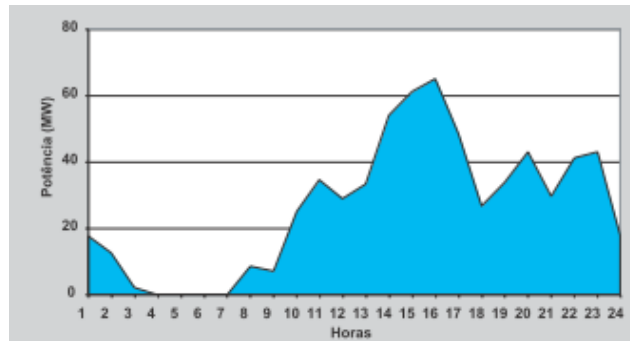



Figura 19: Diagrama de carga médio das máquinas de secar roupa [22]

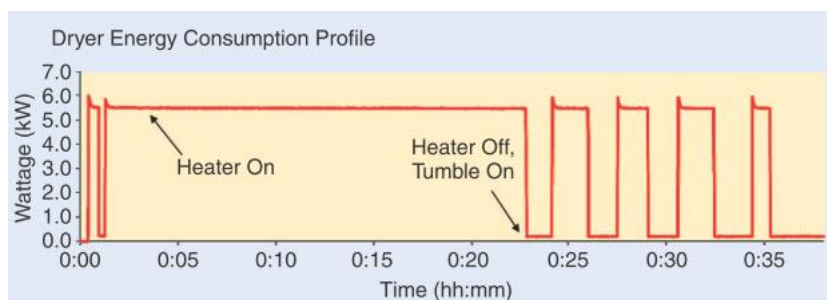
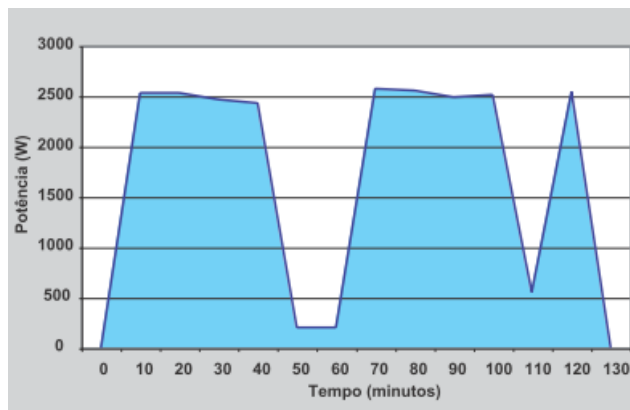



Figura 20: Ciclos típicos de uma máquina de secar roupa [22, 33]

O desvio destas cargas depende da aceitação dos consumidores, tal como no caso anterior.

4.1.5. Máquinas de lavar louça

As máquinas de lavar louça têm uma taxa de penetração significativa no sector residencial, tendo passado dos 30% em 1997 [22] para os 70% em 2005 [26] e são geralmente usadas no período que se segue às refeições com maior incidência no período da noite (Figura 21). Este tipo de carga apresenta um grande potencial de controlo, nomeadamente o desvio, uma vez que um dos principais objectivos por parte dos consumidores é ter a louça lavada e seca a uma determinada hora, não havendo por isso necessidade de pôr as máquinas a lavar imediatamente após o término das refeições.

No entanto, do ponto de vista prático, nem sempre este desvio é possível para durante a madrugada, dado que alguns consumidores se referem ao desconforto causado pelo ruído e ainda a possíveis avarias que podem ocorrer provocando inundações, que nestes casos só seria detectada na manhã seguinte [35, 36].

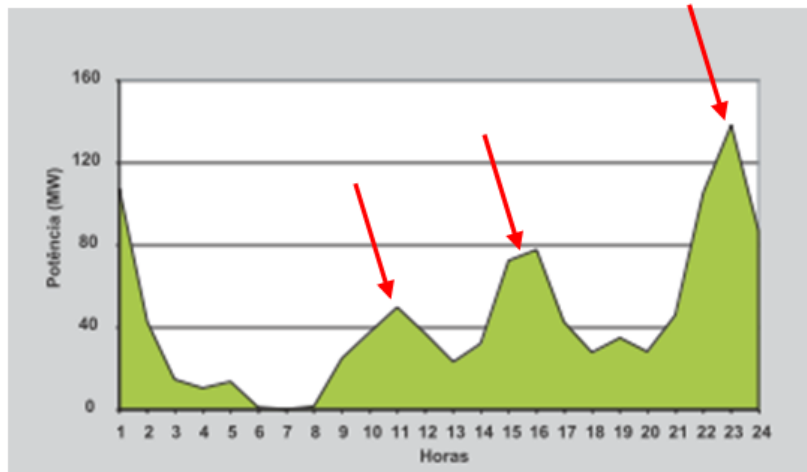



Figura 21: Diagrama de carga médio das máquinas de lavar louça [22]

Do ponto de vista de funcionamento, a electricidade é principalmente usada pela resistência eléctrica que permite o aquecimento da água e na secagem da louça, representando estes ciclos mais de 80% do consumo total. Assim, teoricamente, para além do potencial elevado de reagendamento desta carga, há ainda a possibilidade de interrupção do ciclo de funcionamento e poupanças energéticas significativas. De acordo com a Figura 22, se a interrupção do ciclo se der durante a secagem da louça e se houver uma margem de tempo suficiente para assegurar que a louça se encontra seca à hora que o consumidor pretende, então não existe transtorno para o consumidor.

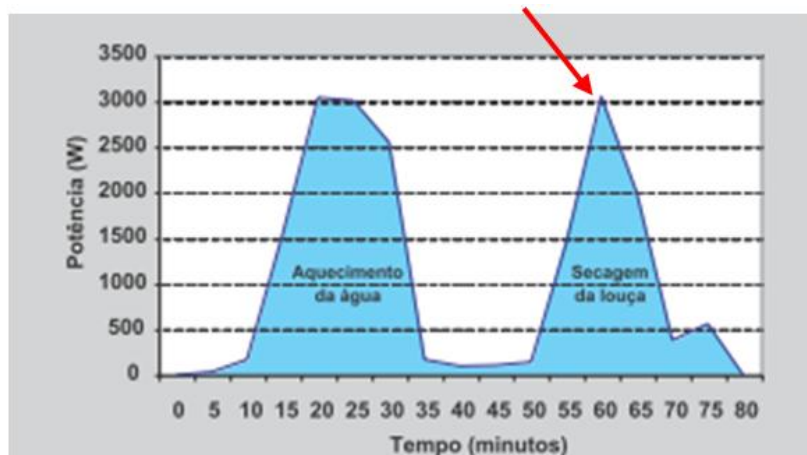
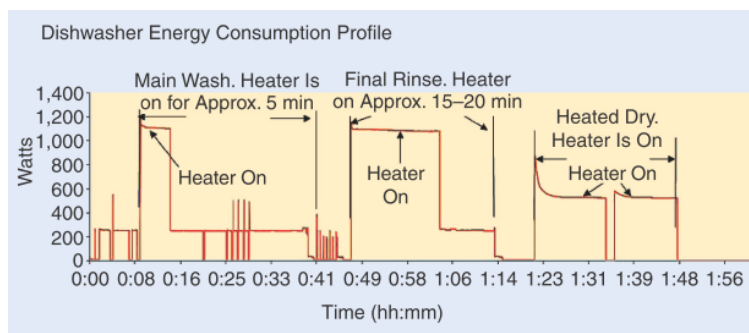



Figura 22: Ciclos típicos de uma máquina de lavar louça [22, 33]

4.1.6. *Equipamentos Audiovisuais*

Os equipamentos audiovisuais, apesar de terem uma elevada taxa de penetração no sector residencial, muito dificilmente podem ser vistos como cargas que possam ser desligadas ou desviadas.

São equipamentos que são usados geralmente para entretenimento, não fazendo qualquer sentido tentar antecipar ou adiar o seu uso. No entanto, quase todos estes sistemas têm um modo de funcionamento em repouso (*standby*), a que os consumidores recorrem muito quando não estão a usar o equipamento na sua função principal (por exemplo: a ver televisão) e que continua a consumir energia desnecessariamente (Figura 23). O consumo global em modo *standby* representa em média cerca de 12% do consumo total [22].

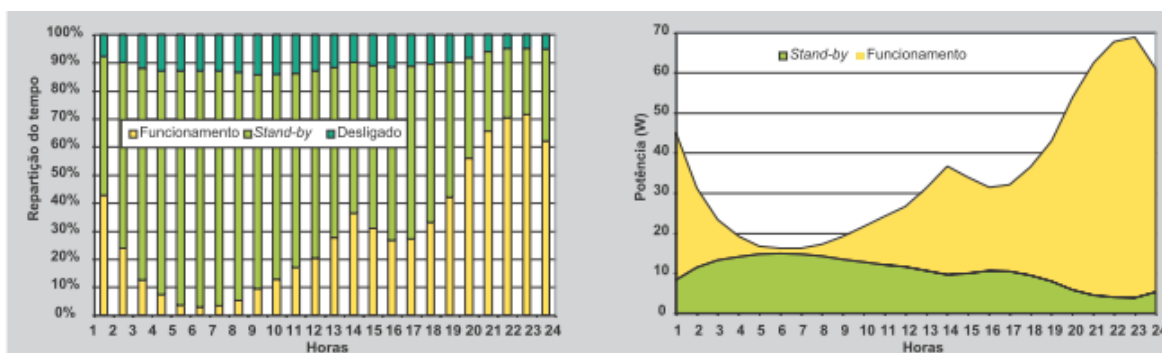



Figura 23: Utilização dos modos de funcionamento dos equipamentos audiovisuais e diagrama de carga médio [22]

4.1.7. *Equipamentos Informáticos*

Os equipamentos informáticos são cada vez mais usados no sector residencial e têm uma taxa de penetração acima dos 50% [26]. Tal como os equipamentos audiovisuais, estes também são deixados em modo *standby* sem necessidade (Figura 24).

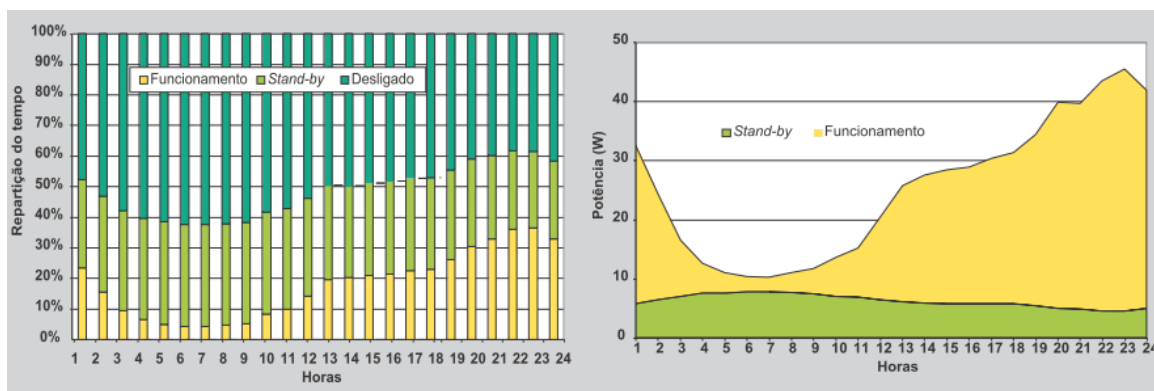



Figura 24: Utilização dos modos de funcionamento dos equipamentos informáticos e diagrama de carga médio [22]

O potencial de poupança de energia nestes equipamentos encontra-se então no seu desligar quando não estão em uso e não no seu desvio, uma vez que não se pode pedir ao consumidor, por exemplo que use o seu computador mais cedo ou mais tarde.

4.1.8. Equipamentos de climatização

De acordo com a Figura 9, os sistemas de aquecimento e arrefecimento ambiente representam 17% do consumo de energia do sector residencial, sendo que cerca de 60% das habitações possuem sistemas de aquecimento e apenas cerca de 5% sistemas de arrefecimento (Figura 10).

Esta área tem apresentado uma tendência crescente devido, por um lado, ao relativamente fraco desempenho térmico do parque edificado em Portugal e, por outro lado, ao aumento do poder de compra dos consumidores e às maiores exigências em termos de conforto que o aumento da idade da população geralmente induz [37].

Os aparelhos usados para climatização incluem aquecedores eléctricos e a gás, piso radiante, sistemas de aquecimento central, termoventiladores e sistemas de ar condicionado. Os sistemas de ar condicionado têm tido uma taxa de penetração crescente nos últimos anos tendo atingido uma taxa de posse de 20% em 2005 em Portugal. A elevada penetração destes sistemas nos países da União Europeia levou ao desenvolvimento de uma Directiva com o objectivo de estabelecer níveis mínimos de eficiência energética [36].

Um factor muito importante nos equipamentos de climatização é a sua adequada regulação, com o objectivo de manter a temperatura da zona em questão relativamente estável, independentemente das condições exteriores e respeitando ao máximo as preferências do consumidor.

Na Figura 25 apresenta-se como exemplo o consumo de um sistema de ar condicionado convencional usado para manter a temperatura em torno dos 25ºC. Esta figura apresenta não só os valores medidos, mas também simulações, uma vez que o objectivo do trabalho em questão era a implementação de modelos fisicamente baseados e a aplicação de programas de controlo directo a essas cargas [38]. Nos sistemas de ar condicionado convencionais, grande parte da energia é usada no ciclo de refrigeração para comprimir o fluido refrigerante, sendo nesta etapa o calor transferido para o exterior [39].

Nos sistemas de ar condicionado do tipo *inverter*, o consumo de energia é mais baixo uma vez que a velocidade do compressor é regulada abrandando o seu funcionamento quando se atinge a temperatura pretendida (Figura 26).

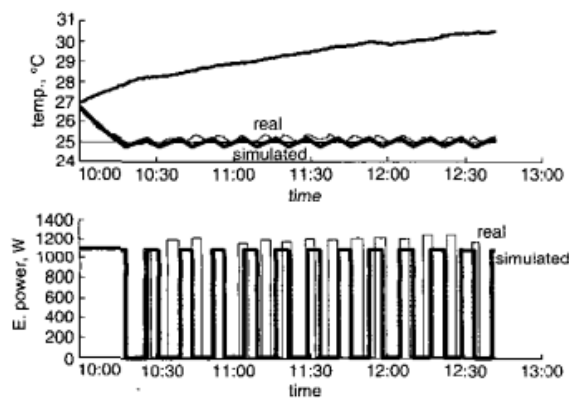



Figura 25: Temperatura exterior e interior e consumo de energia de um sistema de ar condicionado [38]

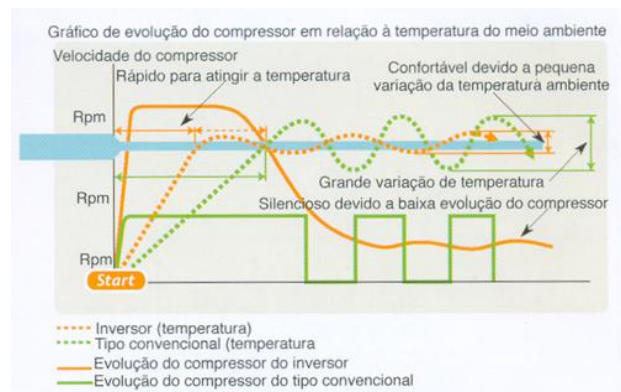



Figura 26: Comparação de um sistema de ar condicionado convencional com um do tipo inverter [40]

Os sistemas de climatização permitem a sua interrupção momentânea sem grandes perturbações para o consumidor, desde que não haja degradação significativa da qualidade de serviço [34, 39]. Como em quase todas as cargas termostáticas, a seguir a um período de interrupção segue-se normalmente um período de "recuperação" com um consumo de energia superior ao que teria no seu funcionamento normal [39].

A potência disponível é diferente consoante o tipo de ar condicionado (convencional ou *inverter*), pelo que a disponibilidade de redução da procura é também diferente. Há maior probabilidade de estar um sistema *inverter* ligado, apesar do seu consumo ser menor, do que um sistema convencional que apresenta um maior consumo e mais variações de estado *on/off*. Independentemente do tipo de ar condicionado, tanto podem ser aplicadas acções de controlo directo (interrupção) como de reparametrização, recorrendo para tal aos termóstatos. No

entanto, a reparametrização traz um maior conforto térmico para o consumidor, que em geral não se aperceberá das pequenas variações da temperatura.

Os programas de controlo directo de sistemas de ar condicionado são uma realidade e permitem a minimização da ponta do diagrama mantendo o conforto térmico dos consumidores [34, 41].

4.1.9. Termóstatos inteligentes

Os termóstatos determinam o funcionamento dos equipamentos de ar condicionado e de frio assegurando o conforto térmico no primeiro caso e a conservação dos alimentos no segunda caso.

O termóstato é modelado através de uma temperatura desejada para o fluído, Ts, e uma "banda morta", ΔT, nos dois lados de Ts. Assim sendo, quando o sistema de ar condicionado está ligado/desligado, continua nesse estado até atingir Ts-ΔT (Figura 27).

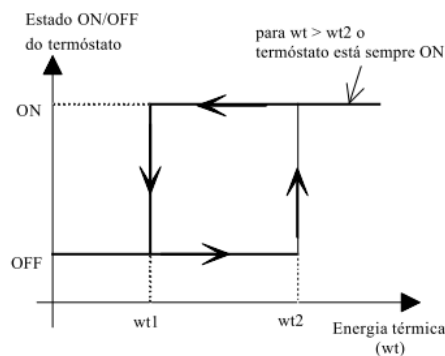



Figura 27: Modelo do termóstato de um AC [42]

A possibilidade de alterar a parametrização dos termóstatos em sistemas de ar condicionado, de acordo, por exemplo, com o preço do kWh [43], permite a diminuição do consumo de energia eléctrica. Esta alteração é possível com os chamados termóstatos inteligentes.

4.2. Classificação das cargas

A caracterização efectuada previamente neste Capítulo permite a classificação de cargas em quatro categorias diferentes, de acordo com a possibilidade de controlo do seu funcionamento:

- cargas cujo funcionamento pode ser desviado para outros períodos horários:
  - máquinas de lavar e secar – o seu funcionamento pode ser adiado ou antecipado dentro de uma determinada janela temporal.

- equipamento de aquecimento eléctrico de água
- cargas que podem ser reparametrizadas modificando a temperatura a atingir, alterando desse modo o seu consumo.
    - sistemas de ar condicionado, termoacumuladores e frio alimentar– pode ser reajustada a temperatura de modo a consumir mais ou menos energia num dado período de tempo de acordo com o que se preveja que possa acontecer no futuro próximo (período de maior ou menor procura).
- cargas que podem ser interrompidas:
    - sistemas de ar condicionado, termoacumuladores e frio alimentar – sistemas cujo funcionamento pode ser interrompido por um determinado período de tempo.
- cargas não controláveis:
    - equipamento audiovisual e informático;
    - iluminação;
    - outro tipo de equipamentos (torradeiras, batedeiras, etc.).

Como exemplo apresenta-se o caso de um dado consumidor residencial para um determinado dia da semana, sendo que na Figura 28 está o consumo desagregado de cada equipamento e na Figura 29 o consumo agregado. Assumindo que este consumidor estaria disposto a permitir o desvio de alguns dos seus equipamentos (máquinas de lavar e sistema de aquecimento de AQS) e de acordo com a seguinte classificação, é possível traçar um gráfico indicativo do seu potencial estimado (Figura 30):

- cargas ajustáveis no tempo: cargas que podem ser desviadas ou reparametrizadas;
- cargas controláveis: cargas que podem ser interrompidas;
- cargas não controláveis: cargas que não podem ser desligadas uma vez em funcionamento.

Neste caso em particular, as cargas disponíveis para desvio ou para interrupção apresentam um consumo diário bastante significativo.

É importante referir no entanto que o potencial das cargas disponíveis para desvio dependem dos hábitos de cada consumidor, pelo que pode facilmente variar ao longo da semana.

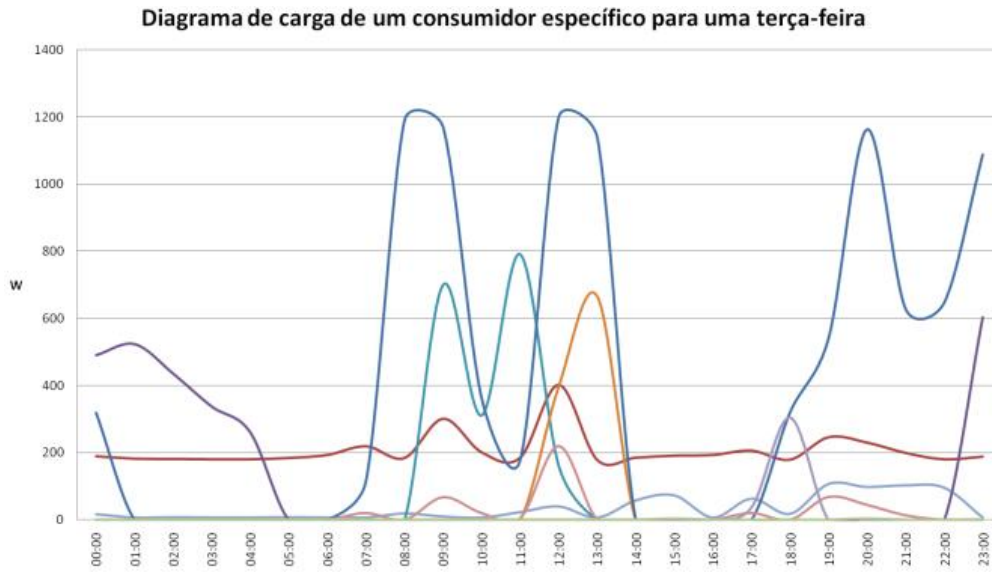



Figura 28: Consumo desagregado de um consumidor específico residencial [44]

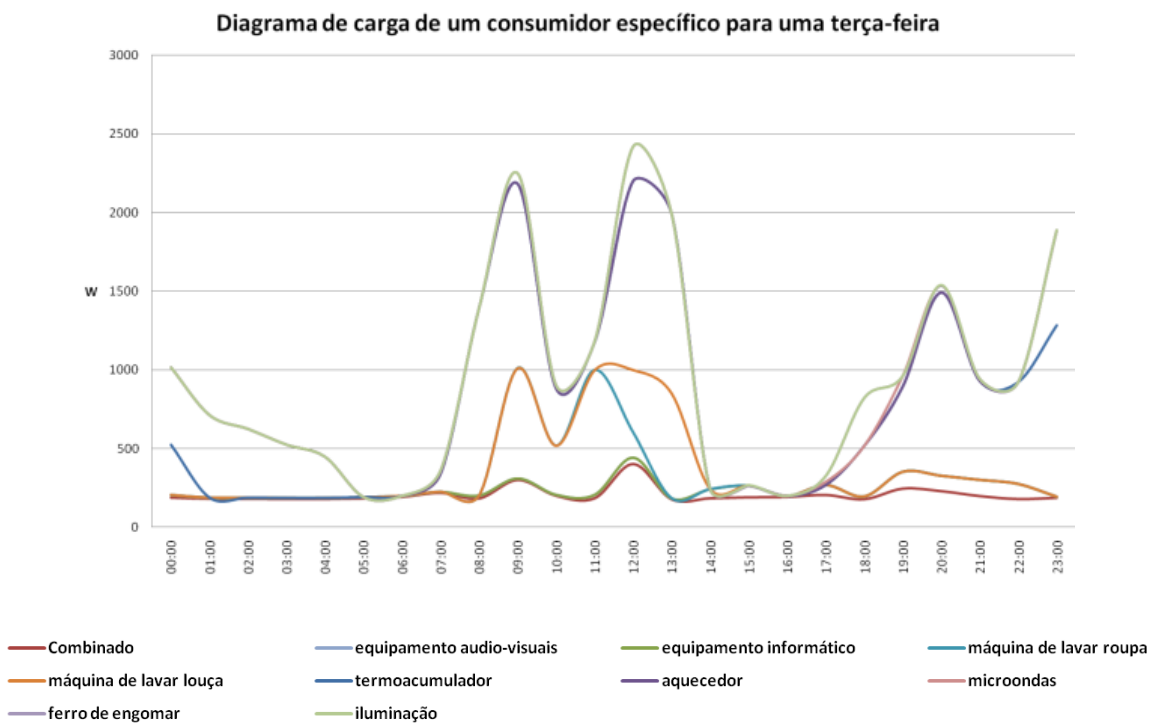



Figura 29: Consumo agregado de um consumidor específico residencial [44]

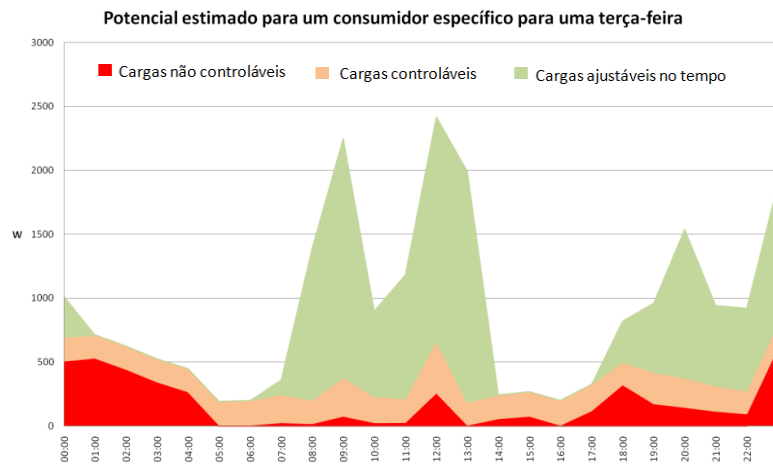



Figura 30: Classificação das cargas e potencial estimado para um consumidor específico residencial

No universo dos consumidores residenciais de Portugal, esse potencial está apresentado na Figura 31, sendo uma fatia bastante significativa para o tratamento da procura como um recurso capaz de se gerido.

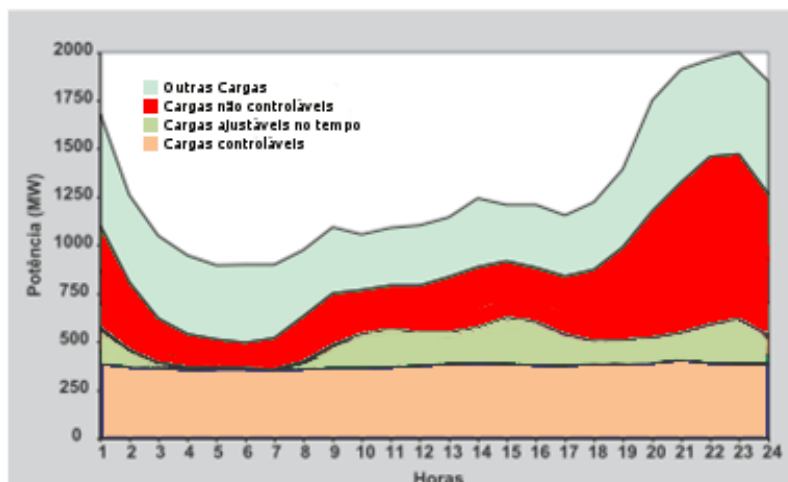



Figura 31: Classificação das cargas e potencial estimado para o sector residencial (adaptado da Figura 9 de acordo com a classificação das cargas)

É importante referir que nesse gráfico, a fatia correspondente a "Outras Cargas" não foi categorizada, uma vez que representa várias cargas incluindo:

- cargas não controláveis como o aspirador, torradeira, varinhas mágicas, entre outras;
- cargas que podem ser reparametrizadas como o sistema de ar condicionado e termoacumuladores.

4.3. Impacto do controlo de cargas

O Simulador desenvolvido no Excel (Anexo A) permite a introdução de dados relativos ao número de habitações, às horas de cheio e de vazio, à taxa de posse de diversos equipamentos, respectivos consumos e sua classificação no que diz respeito ao grau de controlo e à taxa de adesão ao sistema de gestão de recursos.

De acordo com as informações introduzidas e que estão disponíveis no ficheiro Ana_Soares_2010166266_2011_a.pdf, é possível ver o impacto no diagrama de carga diário (Figura 32) e verificar que a poupança estimada para o consumidor médio ronda os 5%.

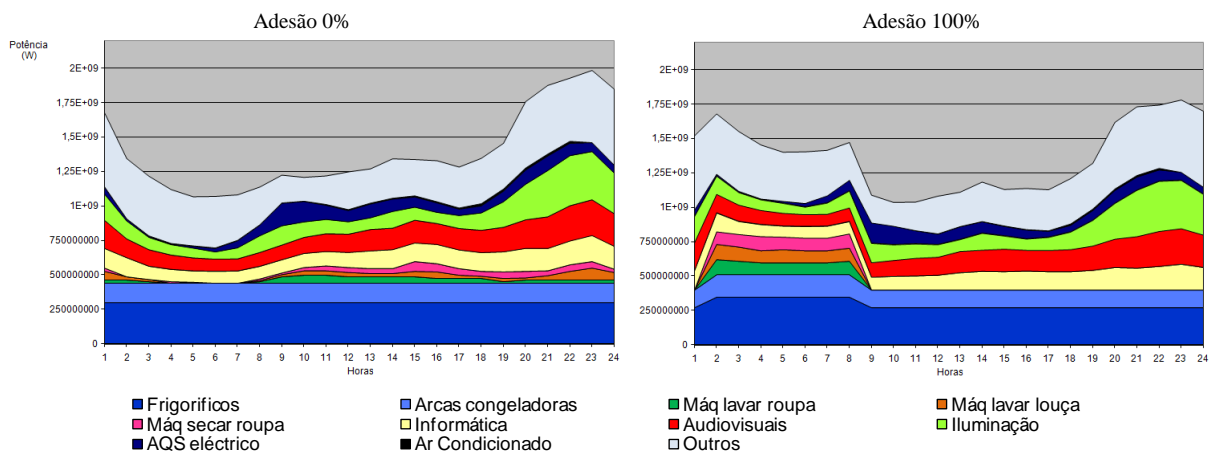



Figura 32: Impacto no diagrama de carga diário de acordo com os dados de entrada para diferentes níveis de adesão dos consumidores às acções de controlo

5. Armazenamento de energia

A crescente preocupação com o impacto ambiental do recurso aos combustíveis fósseis, a instabilidade em termos de oferta e a volatilidades dos preços bem como a procura acentuada desses recursos tem estimulado muito a aposta nas energias alternativas/renováveis. Não sendo, por enquanto, técnica e economicamente possível armazenar grandes quantidades de energia eléctrica, além de manter de forma contínua o equilíbrio entre produção e consumo nos SEE, é necessário adequar continuamente a capacidade do sistema à procura, o que parte das vezes corresponde a um planeamento com incremento contínuo de capacidade. Isto leva a que o SEE tenha que estar, em termos de capacidade, adaptado ao pico da procura, ainda que esse pico ocorra apenas durante um curto período de tempo, estando então essa capacidade subaproveitada boa parte do tempo. Uma forma de reduzir a necessidade de incremento da capacidade do sistema é através da utilização de contribuições do lado da procura que permitam reduzir a taxa de crescimento da ponta de procura.

Além destes estímulos relacionados com a operação eficiente dos SEE, tem-se assistido também a esforços que visam a introdução de alterações significativas no sector dos transportes, relacionadas com a propulsão dos veículos, nomeadamente com a aposta nos veículos híbridos *plug-in* e eléctricos. As tecnologias de armazenamento de energia, sejam sistemas dedicados ou fazendo parte de veículos híbridos e/ou eléctricos, podem facilitar a integração das fontes renováveis variáveis anteriormente referidas, na medida em que permitem lidar quer com a variabilidade quer com a eventual discrepância da disponibilidade desse tipo de recursos relativamente às situações de maior procura.

Do ponto de vista do proprietário, as baterias dos veículos eléctricos podem precisamente funcionar como:

- sistemas de armazenamento de energia durante o período em que o preço do kWh é mais baixo (coincidente com os períodos de menor procura) e/ou nos períodos em que há forte produção de energia eléctrica recorrendo à microgeração;
- como fonte capaz de fornecer energia eléctrica durante os períodos em que a venda de energia eléctrica à rede traz vantagens económicas e que coincide com as horas de pico quando o custo do kWh é mais elevado (Figura 32).

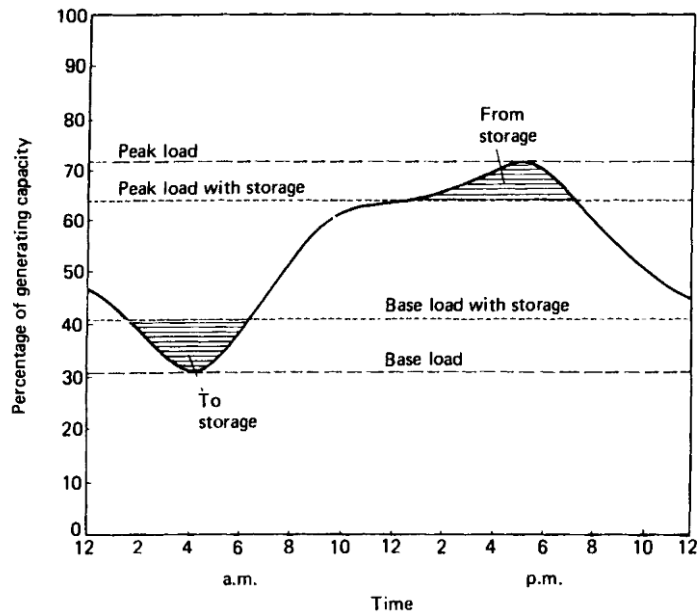



Figura 33: Exemplo de um diagrama de carga e do possível recurso aos sistemas de armazenamento de energia [45]

5.1. Baterias

A forma mais comum de armazenamento de energia consiste no recurso a baterias electroquímicas, apresentando um custo aceitável face à densidade de energia armazenada. Por outro lado, algumas das principais desvantagens são os impactos ambientais e os ciclos de carga e descarga que condicionam o tempo de vida útil.

O tipo de bateria depende das reacções químicas que ocorrem e que, por sua vez, dependem dos materiais usados e vão desde as baterias ácidas de chumbo até tecnologias mais actuais como as de cloreto de níquel e sódio e de iões de lítio (Figura 34).

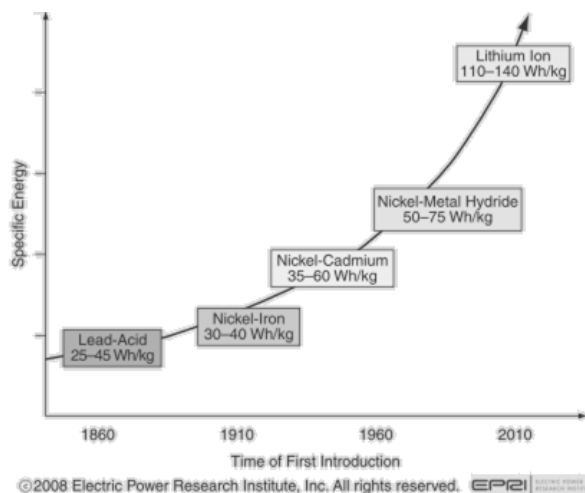



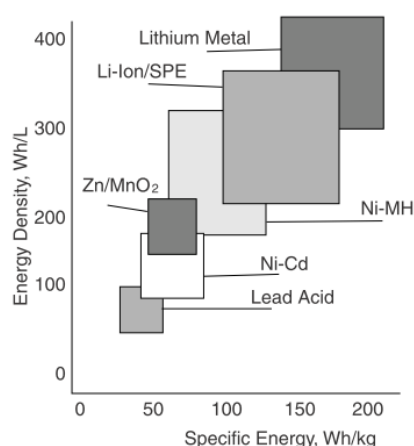
Figura 34: Evolução do desempenho das baterias [46]

As características mais importantes das baterias são:

- a densidade de energia (Wh/dm^3) → quanto maior, menos espaço ocupa;
- o ciclo de vida → quanto mais elevado, maior a vida útil;
- a energia específica (Wh/kg) → quanto mais elevada, maior a autonomia;
- a potência específica (W/kg) → quanto maior, melhor desempenho;
- o tempo de recarga → quanto mais baixo, mais prático se torna.

Neste capítulo serão mais focadas as baterias de ácido chumbo, de níquel e de iões de lítio devido à possibilidade da sua aplicação nos veículos eléctricos e como apoio aos sistemas de produção local de energia.

As baterias ácidas de chumbo possuem densidade de energia baixa e um reduzido ciclo de vida, enquanto que as baterias de níquel cádmio apesar de terem uma densidade de energia baixa, têm um ciclo de vida elevado. No que diz respeito às Ni-MH, apresentam uma densidade de energia mais elevada, mas não tão alta quanto as de iões de lítio (Figura 35).

	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion
Energy Density[1]	40 Wh/kg	45-60 Wh/kg	80 Wh/kg	120-200 Wh/kg
Cycles	200 to 300	1000 to 1500	300 to 500	500 to 1000
Temp. range	- 20 to 60 ºC	- 40 to 60 ºC	- 20 to 60 ºC	- 20 to 60 ºC
Self discharge	5% / month	20% / month	30% / month	5% / month
C-Rate	Very high	Very high	High	Low
Nominal Voltage	2.0 V	1.2 V	1.2 V	3.6 V
Typical Charge	2.3-2.6 V 20h	C/10 11h	C/4 5h	4.2 V 3h
End Voltage	1.7-1.8 V	1.0 V	1.0 V	3.0 V

Ciclo – sequência de carga e descarga de uma bateria

Ciclo de vida – número total de ciclos de carga/descarga de uma bateria mantendo uma capacidade de saída e uma eficiência previamente definidas

C-rate – método de apresentar a corrente de carga ou descarga de uma bateria em função da capacidade nominal da bateria[3] (C):

- uma bateria de 1000 mAh fornece 1000 mA numa 1 hora se descarregada à taxa de 1 C
- a mesma bateria descarregada a 0,5 C fornece 500 mA em 2 horas
- a 2 C, a mesma bateria entrega 2000 mA em 30 minutos

Self-discharge – perda da capacidade de uma bateria em condições de circuito aberto devido às reacções químicas que ocorrem

Taxa de descarga – taxa a que a corrente eléctrica é retirada da bateria expressa em Ampères

Capacidade nominal – carga total que pode ser armazenada e é dada em Ah

este parâmetro é fornecido pelos fabricantes após vários testes em que se mede a carga fornecida a uma bateria num dado período de tempo a uma determinada taxa de descarga e temperatura (47).

Figura 35: Comparação de diferentes tecnologias [48, 49]

[3] A capacidade nominal é definida como a carga total que pode ser armazenada e é dada em Ah. Este parâmetro é fornecido pelos fabricantes após vários testes em que se mede a carga fornecida a uma bateria num dado período de tempo a uma determinada taxa de descarga e temperatura [47].

5.1.1. Carregamento de baterias

A forma de carregamento de uma bateria depende do tipo e das características da bateria, não devendo, idealmente, o modo de carregamento diminuir o ciclo de vida da bateria [45]

As curvas de descarga das baterias, a uma taxa de descarga de C/5 são apresentadas na Figura 36 e os efeitos da taxa de descarga no desempenho das baterias na Figura 37. Esta última figura mostra que a potência específica se altera com o aumento das horas de serviço. Quanto maior o declive da curva em questão, maior é a retenção de capacidade com o aumento da descarga.

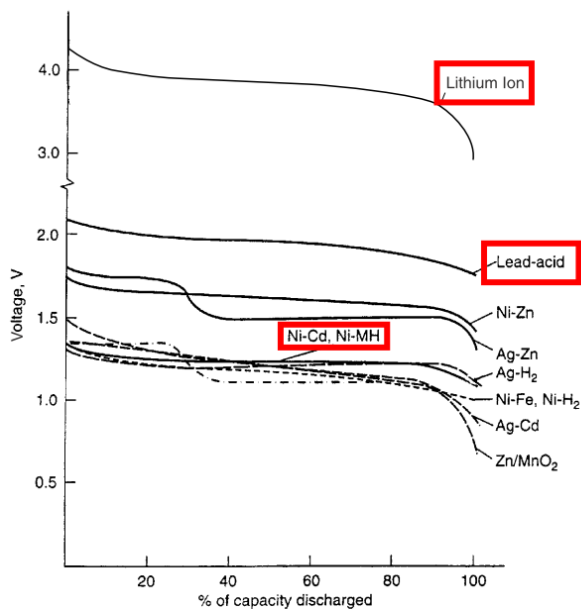



Figura 36: Perfil de descarga de vários tipos de baterias a uma taxa de descarga de aproximadamente C/5 [49]

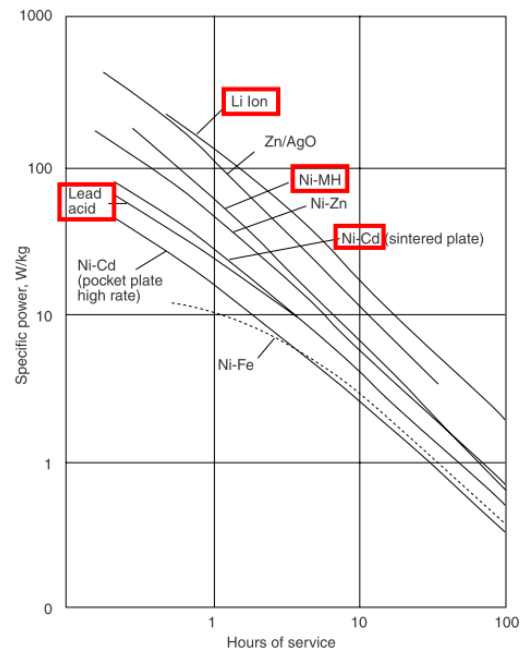



Figura 37: Comparação da performance das baterias a 20ºC [49]

A maior parte das baterias podem ser carregadas a corrente-constante conforme se pode mostra na Figura 38 [49].

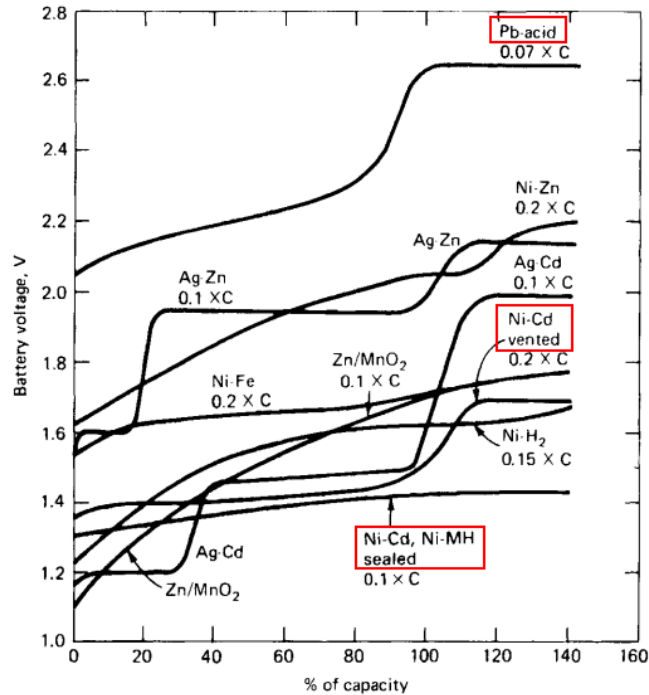



Figura 38: Curvas de carga características a corrente-constante a 20ºC de alguns tipos de bateria [49]

A carga pode ser aplicada com uma corrente constante até que seja atingida uma tensão pré-definida medida pelo regulador de carga. Uma vez atingida a referida tensão pré-definida aos terminais da bateria, a corrente constante que estava previamente a ser aplicada é interrompida e aplica-se o algoritmo de carga a impulsos [50].

A título de exemplo, apresenta-se o modo de carregamento típico de uma bateria de iões de lítio (Figura 39). Tipicamente, a bateria de iões de lítio é carregada por um dispositivo limitador de tensão semelhante ao que é usado para carregar baterias de chumbo. O algoritmo típico para o carregamento de baterias de iões de lítio consiste na aplicação de uma corrente de 1 C à bateria até que o limite de tensão das células que a constituem seja atingido. Nesta altura, o circuito altera-se de modo a efectuar controlo de tensão. À medida que se aproxima da tensão máxima, a corrente diminui regularmente até que a carga seja terminada a uma corrente algures abaixo de 0.03 C, dependendo da impedância da célula [50].

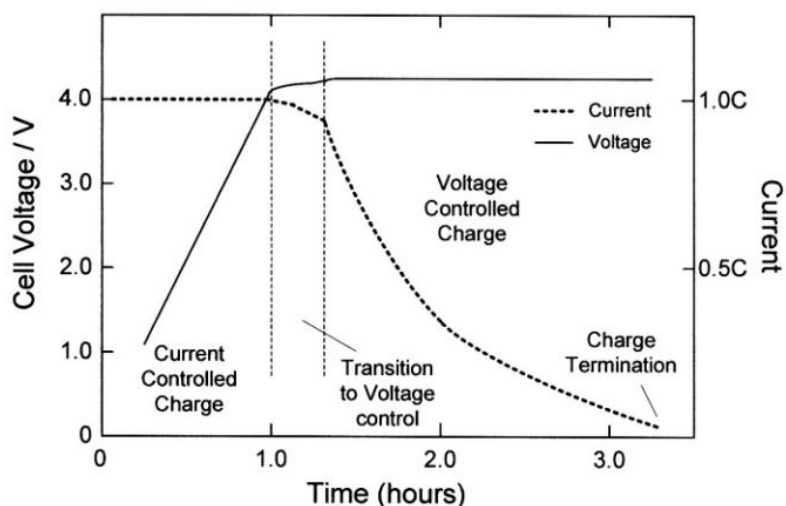



Figura 39: Carregamento de uma bateria de iões de lítio [50]

É importante referir que a profundidade de descarga de uma bateria influencia o seu tempo de vida. Na Figura 40 é possível ver o número total de ciclos *vs.* a profundidade de descarga: o número de ciclos diminui à medida que a profundidade de descarga aumenta para vários tipos de baterias.

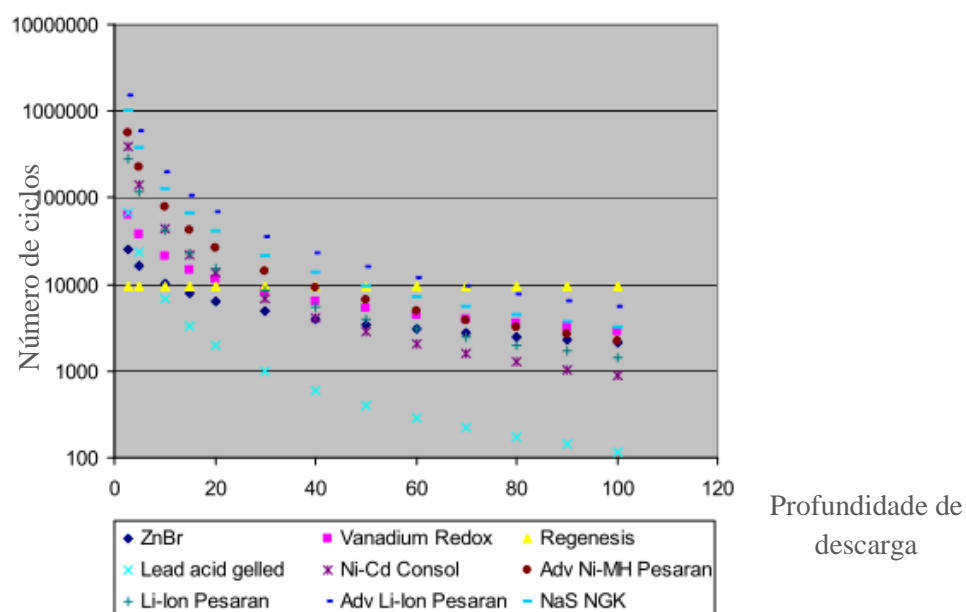



Figura 40: Número de ciclos vs. profundidade de descarga [10]

Também o regime de carregamento das baterias influencia a seu tempo de vida, devido ao “efeito memória” [49]. O efeito memória pode ocorrer quando uma bateria é descarregada e recarregada repetitivamente sem que ocorra uma descarga/carga mais profunda, i.e., até ao valor indicado pelo fabricante, e revela-se na diminuição da capacidade de carga da bateria. Nas baterias mais recentes, nomeadamente nas de iões de lítio, esse efeito não se verifica,

pelo que o seu carregamento pode ser interrompido. Já em baterias, como as Ni-Cd e Ni-MH, esse efeito pode ocorrer, pelo que se deve respeitar as indicações do fabricante.

5.2. Supercondensadores

Os supercondensadores apresentam vantagens em relação às baterias apresentando um tempo de resposta mais rápido e um ciclo de vida elevado. Tal como um condensador, estes sistemas armazenam energia separando as cargas negativas das positivas, sendo, no entanto, a densidade de energia bastante superior no caso dos supercondensadores [10].

Os supercondensadores praticamente não exigem manutenção e, como o seu desempenho não se degrada com os ciclos de carga e descarga completos, tem um tempo de vida útil muito elevado. Como a sua densidade de potência é extremamente alta, podem entregar toda a energia que foi armazenada de forma muito rápida. A sua principal desvantagem reside na baixa densidade de energia.

As aplicações mais comuns são em sistemas de armazenamento de energia em que se necessita de um rápida resposta e, mais recentemente, em veículos eléctricos funcionando como uma fonte complementar de energia eléctrica prolongando o tempo de vida das baterias.

5.3. V2G

O conceito de V2G assenta na possibilidade de fornecimento e absorção de energia eléctrica da rede quando o veículo se encontra parado por um determinado período de tempo [51]. Tal deve-se ao facto das baterias que se podem usar nestes veículos poderem funcionar também como sistemas de armazenamento (Figura 41) que podem ser geridos dinamicamente quer respondendo a objectivos do seu proprietário, quer como resposta a estímulos da rede. Podem, por exemplo, armazenar energia e depois disponibilizá-la em situações de necessidade: situações em que ocorram *blackouts* ou em que a fiabilidade da rede esteja em causa ou ainda quando o preço do kWh seja elevado, compensando o recurso ao sistema de armazenamento. Para que tal seja possível devem existir:

- sistemas de controlo e de comunicação com a rede;
- sistemas de controlo e medida no próprio veículo;
- uma ligação que permita a comunicação entre a rede e o veículo e vice-versa.

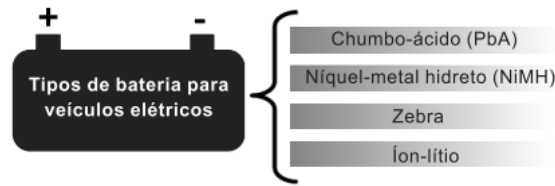



Figura 41: Tipos de bateria para os veículos eléctricos [52]

No contexto das *smart grids*, este tipo de veículos podem representar uma carga adicional que pode ser deslocada no tempo obedecendo a certas restrições tanto em termos de necessidades e preferências do consumidor, como restrições de ordem técnica. De acordo com alguns estudos, a maioria dos PHEVs (*plug-in hybrid electric vehicles*) precisam de 12,5 - 18,75 kWh para percorrerem sensivelmente 100 km [53].

Relativamente às estratégias que podem ser assumidas para gerir o carregamento das baterias, podem ser identificadas duas opções:

- *dumb charge* (estratégia não inteligente, do ponto de vista dos impactos que possa ter na rede): o consumidor é completamente livre para ligar o seu veículo à rede quando quiser podendo contribuir para o aumento da ponta do diagrama de carga diário;
- *smart charge* (estratégia inteligente): pressupõe uma gestão activa com monitorização dos elementos ligados à rede, permitindo ao sistema controlar o carregamento do veículo que será feito no período mais adequado do ponto de vista dos impactos que possa ter na rede [54].

No que diz respeito ao modo de carregamento das baterias existem duas modalidades:

- carregamento lento: carregamento que tipicamente demora entre 6 a 8 horas e que é indicado como o preferencial dado que não tem implicações graves no desempenho da bateria;
- carregamento rápido: carregamento que não excede os 30 minutos e que é indicado para situações pontuais em que seja necessário o prolongamento imediato da autonomia, tendo no entanto implicações no desempenho da bateria [55]. Por esse motivo é necessário recorrer a um controlo que interrompa a carga de modo a evitar o aumento excessivo da temperatura ou alterações químicas significativas [49].

Em relação às baterias usadas, as de iões de lítio apresentam uma capacidade de carga rápida, bom funcionamento a baixas temperaturas e elevada vida útil [14], tendo no entanto

alguns problemas de segurança e um custo elevado. Já as baterias ácidas de chumbo, apesar do pior desempenho, têm um custo mais baixo. As baterias de hidretos metálicos de níquel são as que estão numa posição intermédia em termos de desempenho e custo. A Tabela 4 apresenta um resumo entre este tipo de baterias para veículos eléctricos.

Tabela 4: Características de algumas das baterias [52]

		Energia (Wh/kg)	Vida útil (ciclos)	Custos	Segurança	Problemas
PbA		30-50	200-300	X	Estável	Baixa energia
NiMH		60-80	300-500	3X	Estável	Opção intermediária. Não lidera em custo, nem em desempenho.
Íon-lítio	NCA	100-130	>800	5X	Necessitam de proteção	Custo e segurança
	NMC	100-130	>1.000			
	LFP	90-110	>2.000			

5.4. Importância dos sistemas de armazenamento

Considerando um cenário em que existem tarifas dinâmicas para os vários sectores que variam de acordo com a produção de energia eléctrica e a procura e assumindo uma penetração importante dos sistemas de produção descentralizada de energia eléctrica e dos veículos eléctricos, os sistemas que possibilitem o armazenamento de energia assumem grande importância.

Apesar de actualmente existirem incentivos financeiros para a microprodução bastante satisfatórios, e ainda a obrigação, por parte do Comercializador de Último Recurso, da compra da energia produzida a um preço mais elevado do que aquele a que é vendido por esse comercializador, esses incentivos diminuem ao longo do tempo e chegará um ponto em que o lucro da venda da energia para o consumidor será nulo. Face a tal situação, os sistemas de armazenamento poderão assegurar ao consumidor residencial o fornecimento de energia eléctrica quer quando apresentar vantagens económicas, quer quando ocorram interrupções na rede.

Os sistemas de armazenamento surgem neste contexto como importantes ferramentas que permitem:

- contribuir para o alisamento do diagrama de carga, com todos os benefícios associados : capacidade, perdas, gestão do sistema, custos, fiabilidade;
- gerir o desfasamento entre a disponibilidade de algumas fontes alternativas e a procura;
- lidar com a variabilidade de algumas fontes;

- a gestão económica de recursos possibilitando a diminuição da dependência externa e minimizando os impactos da volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis.

trazendo então benefícios financeiros e técnicos quer para o consumidor, quer do ponto de vista do sistema e contribuindo também para:

- assegurar a fiabilidade do sistema de energia eléctrica;
- minimizar a necessidade de investir em novas centrais quando aliados a sistemas de gestão que permitam controlar a procura.

6. Energias Renováveis e Microprodução

As preocupações com as emissões de GEE e com a necessidade de encontrar fontes alternativas para a produção de energia eléctrica tem dado origem a várias apostas tanto na energia eólica como na solar (Figura 42 e Figura 43).

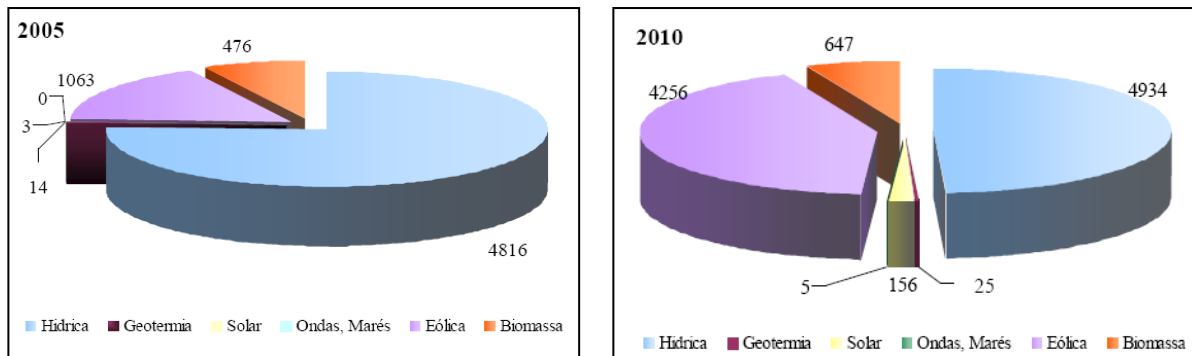



Figura 42: Repartição da capacidade instalada (MW) – dados do PNAER [56]

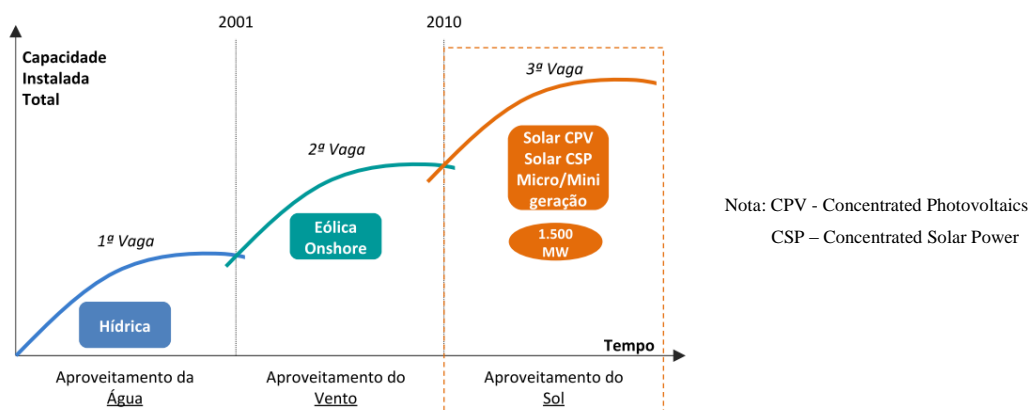



Figura 43: Vagas de desenvolvimento da Política de Renováveis em Portugal [57]

O aumento da quantidade de energia produzida a partir de fontes renováveis, nomeadamente eólica e solar (Figura 44, Figura 45 e Figura 46), tem colocado por vezes questões de possíveis perturbações na rede, como o decremento da qualidade de serviço da energia, evidenciadas pelo seu carácter variável.

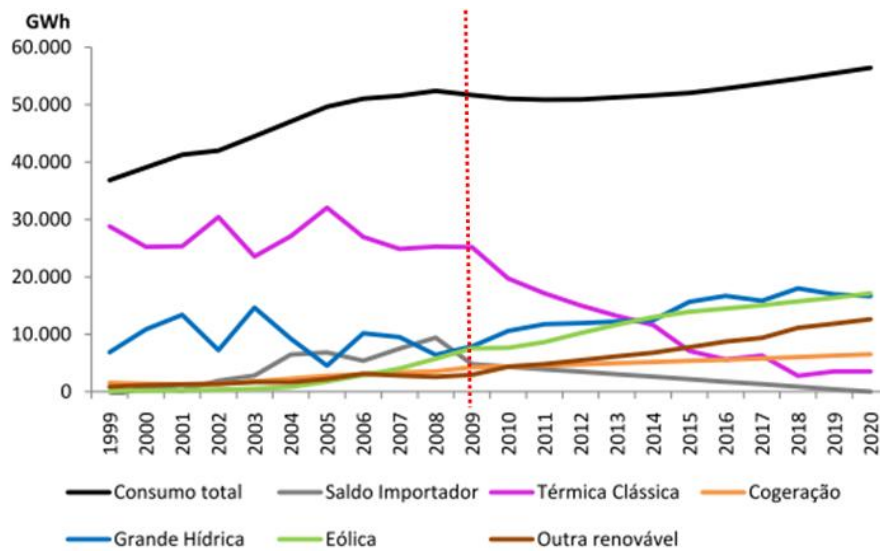



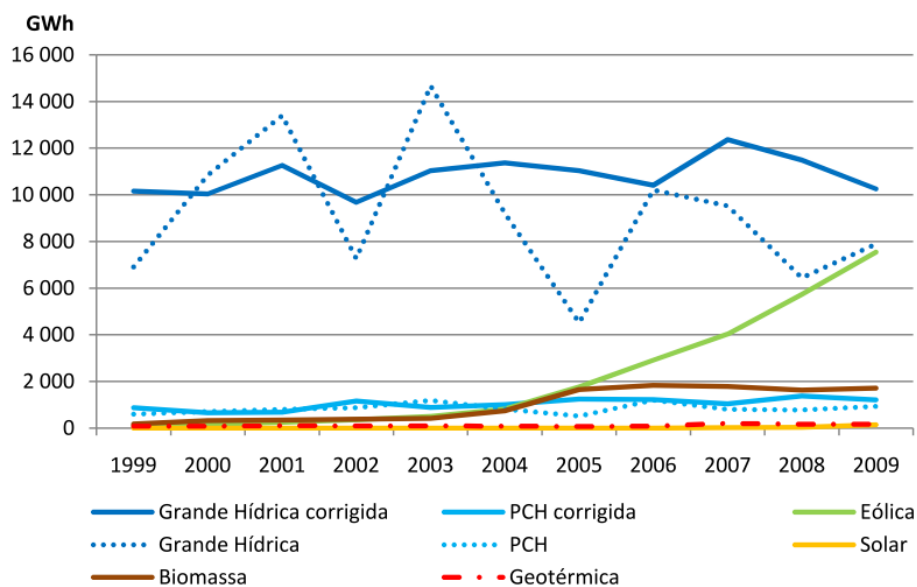
Figura 44: Contribuição do saldo importador e das várias tecnologias para o consumo de energia eléctrica em Portugal [58]

Nota: PCH – pequenas centrais hídricas

Figura 45: Produção de electricidade de origem renovável em Portugal com e sem correcção de hidraulicidade[4] 1999-2009 [58]

[4] A produção de electricidade de origem renovável varia significativamente de ano para ano devido à influência da produção de energia hidroeléctrica. Este efeito é suavizado ao corrigir a produção hídrica com o coeficiente de hidraulicidade. A variabilidade é atenuada recorrendo a condições médias [58].

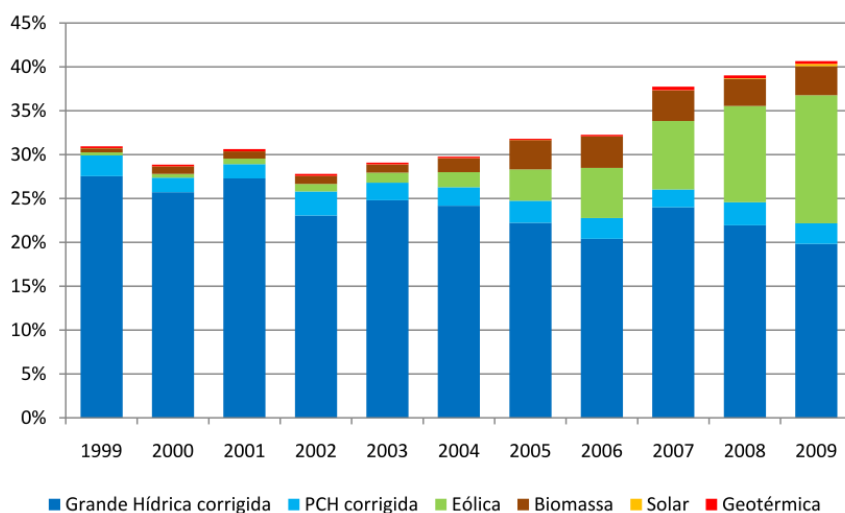



Figura 46: Quota de energias renováveis na produção de energia eléctrica por tecnologia em Portugal com correcção de hidraulicidade 1999-2009 [58]

A aposta nas energias renováveis vai permanecer, tanto devido às preocupações ambientais, como, principalmente, pela necessidade de reduzir a dependência externa em termos energéticos [30].

6.1. Energia Solar

A intensidade da radiação solar fora da atmosfera depende da distância entre o Sol e a Terra, podendo a irradiância (E_0) variar entre $1\,325\ \mathrm{W/m^2}$e $1\,412\ \mathrm{W/m^2}$, sendo o seu valor médio de $1\,367\ \mathrm{W/m^2}$. No entanto, apenas uma parte da radiação solar emitida atinge a superfície da Terra, atingindo a irradiância, em boas condições climatéricas e independentemente da localização, os $1\,000\ \mathrm{W/m^2}$ ao meio-dia. Ao adicionar a quantidade total da radiação solar que incide na superfície terrestre durante o período de um ano, obtém-se a irradiação global anual, medida em kWh/m 2 [59]. Esta parâmetro varia de um modo significativo com as regiões, como se pode observar na Figura 47.

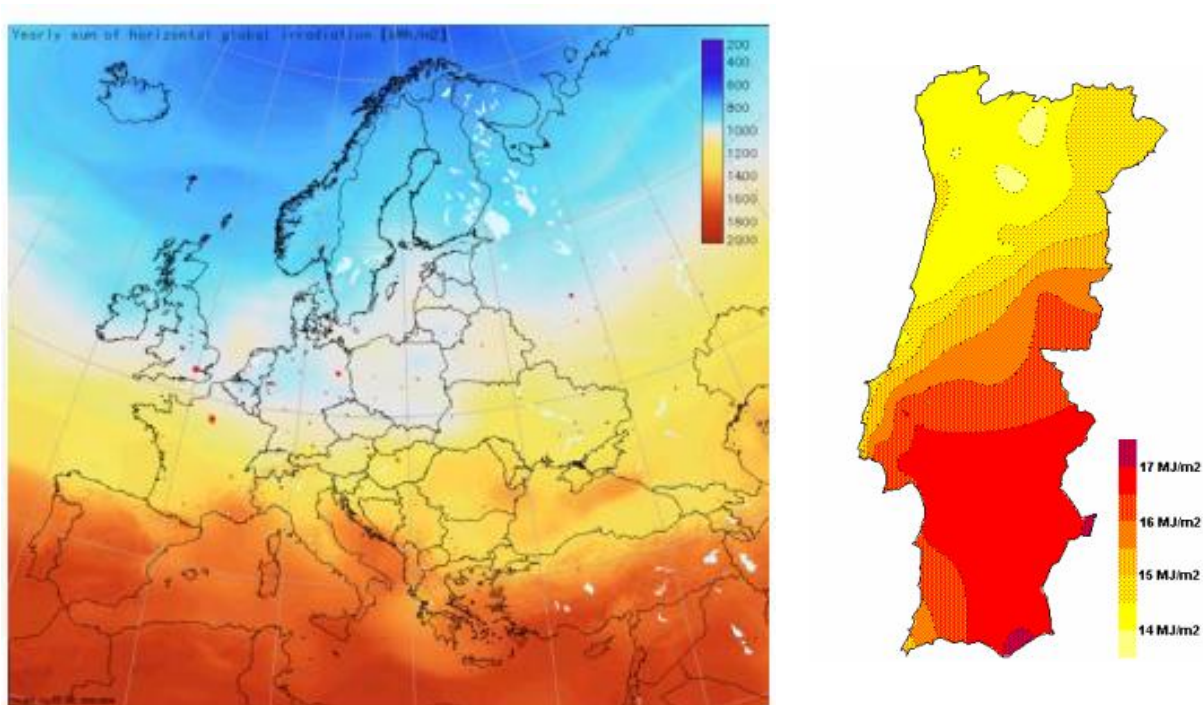



Figura 47: Disponibilidade do recurso solar [60, 61]

6.1.1. Solar fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos podem ser sistemas autónomos ou ligados à rede. Enquanto que nos sistemas ligados à rede, a própria rede opera como um acumulador ou fonte de energia, nos sistemas autónomos, o aproveitamento da energia solar deve ser devidamente ajustado à procura.

Nos sistemas autónomos em que haja desajustes entre a energia produzida e a procura de energia, pode recorrer-se aos sistemas de armazenamento, tais como as baterias recarregáveis que foram referidas no Capítulo 5.1, ou mesmo meios de apoio complementares que permitam a implementação de um sistema híbrido e assim conseguir atingir o equilíbrio entre geração e procura.

No que diz respeito ao armazenamento de energia, a sua utilização implica o recurso a reguladores de carga que façam a gestão do processo de carga de modo a garantir uma elevada fiabilidade e a maximização do tempo de vida das baterias. Um sistema autónomo típico encontra-se esquematizado na Figura 48.

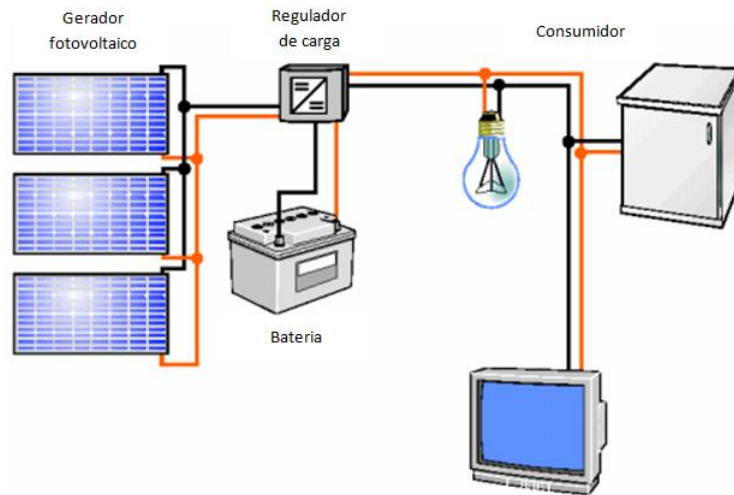



Figura 48: Sistema fotovoltaico autónomo [59]

O dimensionamento do sistema (Figura 49) deve ser feito levando em conta:

- a caracterização dos consumos diários de energia eléctrica;
- as flutuações de radiação durante o ano;
- as possíveis perdas da linha de conversão e de desajustamento resultantes da variação da tensão observados pelo gerador solar nos terminais da bateria;
- o excesso esperado de produção no Verão e de reserva no Inverno.

1. Consumo diário de energia:
   No Verão (de Maio a Agosto): **0,656 kWh/dia**
   No Inverno (de Novembro a Fevereiro): **0,248 kWh/dia**

2. Factor $\mathbf{Z_2}$ para a radiação horizontal, na localização indicada. Seleccionar o mês com a menor radiação para cada caso (no Verão é Maio, no Inverno é Dezembro):
   No Verão (Lisboa, Maio): $\mathbf{Z_2}$**= 5,80 h/dia**
   No Inverno (Lisboa, Dezembro): $\mathbf{Z_2}$**= 1,95 h/dia**

3. Factor $\mathbf{Z_3}$ para a orientação do gerador fotovoltaico (ângulo de inclinação de 45º, orientado para sul):
   No Verão (Maio): $\mathbf{Z_3}$ **= 0,94**
   No Inverno (Dezembro) : $\mathbf{Z_3}$ **= 1,55**

4. Factor $\mathbf{Z_4}$ tomando em conta a temperatura da célula:
   No Verão (Maio): $\mathbf{Z_4}$ **= 0,88**
   No Inverno (Dezembro): $\mathbf{Z_4}$ **= 1,02**

5. Factor total **V** para as perdas da linha, conversão e desajuste **V = 0,76**

Fórmula para calcular a potência necessária do gerador $\mathbf{P_{PV}}$

$$PPV = \frac{consumo\ diário\ de\ energia\ W}{Z_2 \times Z_3 \times Z_4 \times V}$$

Tabela 6.4

Estação	Consumo energético diário em kWh/d	Z_2 em h/d	Z_3	Z_4	V	Potência do Gerador em kW_p
Verão (Maio)	0,656 kWh/dia	Z_2= 5,80	Z_3 = 0,94	Z_4 = 0,88	V = 0,76	0,5
Inverno (Dezembro)	0,248 kWh/dia	Z_2= 1,95	Z_3 = 1,55	Z_4 = 1,02	V = 0,76	0,5

Figura 49: Descrição da escolha do gerador fotovoltaico – exemplo para uma casa de férias [59]

Uma forma de compensar, pelo menos parcialmente, a disponibilidade localizada no tempo da energia solar reside na combinação com uma outra fonte de energia (Figura 50) com uma disponibilidade temporal diferente. O uso de um gerador eólico é uma boa opção, uma vez que a energia solar e a energia eólica têm frequentemente disponibilidades temporais diferentes.

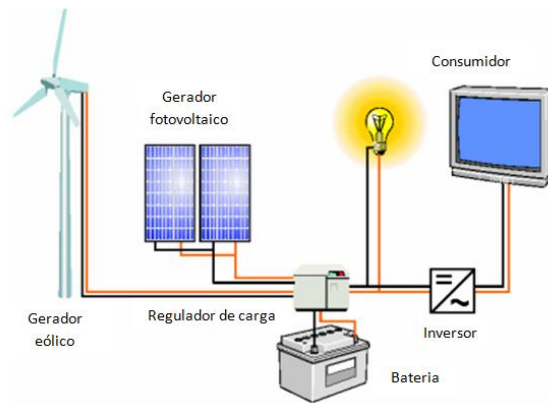



Figura 50: Sistema híbrido [59]

Já um sistema fotovoltaico com ligação à rede é composto:

1. pelo gerador fotovoltaico;
2. pela caixa de junção ;
3. pelos cabos AC-DC;
4. pelo inversor;
5. pelo mecanismo de protecção e aparelho de medida (Figura 51).

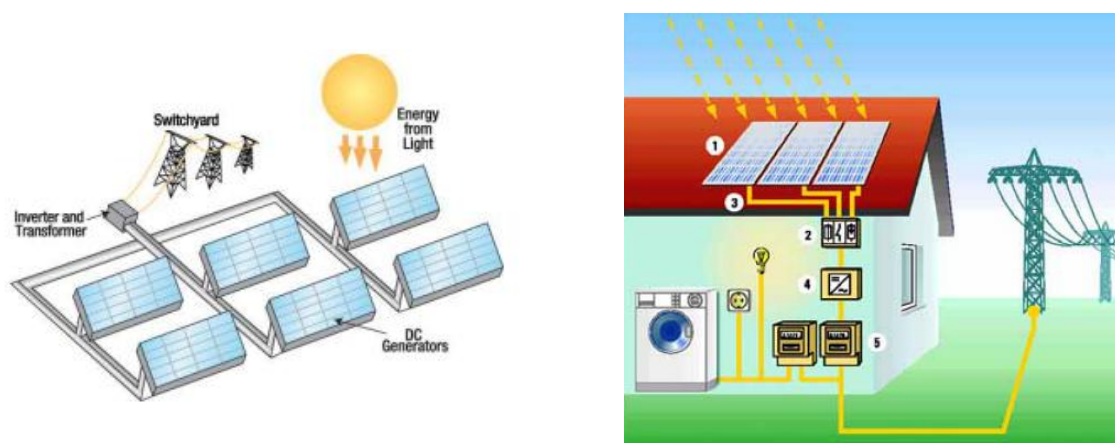



Figura 51: Sistema fotovoltaico ligado à rede [62, 59]

6.1.2. Solar térmico

Os colectores solares convertem a radiação de onda-curta em calor. Este calor é gerado pela absorção dos raios solares sendo posteriormente o calor transferido para o fluído de transferência térmica. Este fluído, por sua vez, flui para o tanque de armazenamento de água quente, sendo então o calor transferido para a água potável através de um permutador de calor.

Estes sistemas são normalmente dimensionadas para cobrirem anualmente cerca de 50 a 80% das necessidades de aquecimento de água, devendo a diferença ser fornecida por um sistema de apoio convencional.

A instalação do sistema de apoio é feito no topo do tanque de armazenamento, no caso do *backup* eléctrico. O correcto dimensionamento do volume do tanque de armazenamento deve considerar a cobertura de 1,5 a 2 vezes a quantidade de água quente diária utilizada, devendo o seu volume ser de 50 a 70 litros por pessoa. O sistema deve ser dimensionado considerando alguns valores típicos para estimar o consumo de água quente (Tabela 5).

Tabela 5: Valores típicos [63]

Função	Litros necessários
Lavagem de mãos (40ºC)	3
Duche (40ºC)	35
Banho de imersão (40ºC)	120
Limpeza	3
Cozinhar	2
Lavagem de loiça (50ºC)	20
Máquina de lavar roupa (50ºC)	30

6.1.2.1. Ligação de máquinas de lavar roupa/louça

Como já foi referido no Capítulo 4.1, a maior parte da energia consumida nas máquinas de lavar é para aquecimento da água. A possibilidade de diminuir o consumo dessa energia traz vantagens para o consumidor.

Existem máquinas que já estão preparadas para serem ligadas directamente a um sistema solar, enquanto que outras necessitam de uma unidade de controlo para regular o alimentador de água quente e fria de acordo com o programa escolhido.

6.2. Energia Eólica

A energia eólica apresenta um carácter variável [15, 64], tendo por isso características diferentes das fontes convencionais de geração de energia eléctrica [14] e estando o seu potencial também dependente da zona geográfica (Figura 52).

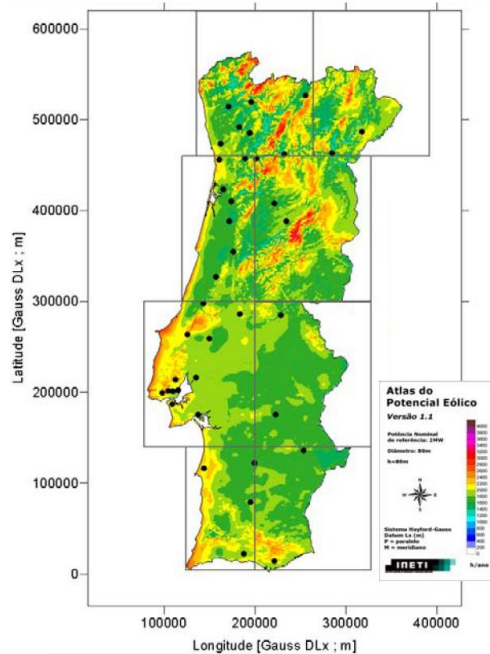



Figura 52: Potencial eólico em Portugal [60]

Apesar das vantagens ambientais em termos de emissões de CO_2, a sua contribuição para dar resposta às necessidades da ponta dos consumos é limitada. Isto prende-se com o facto de a sua produção depender das condições ambientais, variando com a velocidade do vento, e nem sempre as melhores condições se verificarem em períodos de maior pressão em termos de consumo. A produção eólica varia não só sazonalmente entre o Verão e o Inverno [23], mas também em janelas de tempo mais reduzidas (por exemplo, a nível das horas - Figura 53) [65]. Esta grande variabilidade da eólica requer sistemas alternativos de produção de energia, eventualmente complementadas com outras soluções, de resposta rápida, tais como a hídrica ou turbinas a gás em ciclo combinado ou o recurso a sistemas de armazenamento.

Apesar de ser possível prever a densidade de potência eólica para o ano inteiro para uma dada localização, não é possível prever exactamente para cada dia e hora [66]. Algumas das soluções para ajudar a lidar com este problema assentam ou podem vir a assentar:

- no uso de sistemas de armazenamento quando há uma maior produção eólica e que pode incluir a bombagem de água em centrais hídricas reversíveis;

- na aposta nas técnicas de gestão da procura e aumento da eficiência energética com o intuito de diminuir a procura.

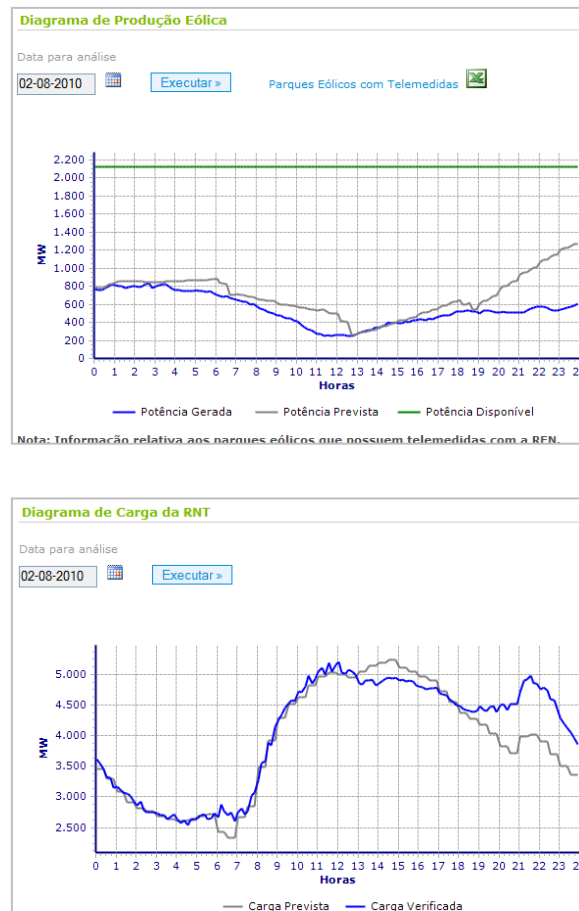



Figura 53: Diagrama de produção eólica e diagrama de carga – 2 de Agosto de 2010 [67]

Para uso doméstico, os geradores eólicos apresentam uma gama de potências típicas das turbinas desde 500 W a 10 kW e podem ser usados em unidades isoladas ou ligadas à rede.

6.3. Micro-cogeração

De acordo com a Directiva Europeia 2004/8/CE, as tecnologias de cogeração de elevada eficiência com uma capacidade máxima de produção de energia eléctrica até 50 kW são denominadas por tecnologias de micro-cogeração. Tal como as tecnologias de cogeração, a micro-cogeração assenta na produção combinada de calor e electricidade.

Ao contrário da produção separada de calor e electricidade, na produção combinada, a mesma quantidade de combustível gera mais energia, sendo as perdas menores (Figura 53) e permitindo o aquecimento de espaços e de águas quentes sanitárias.

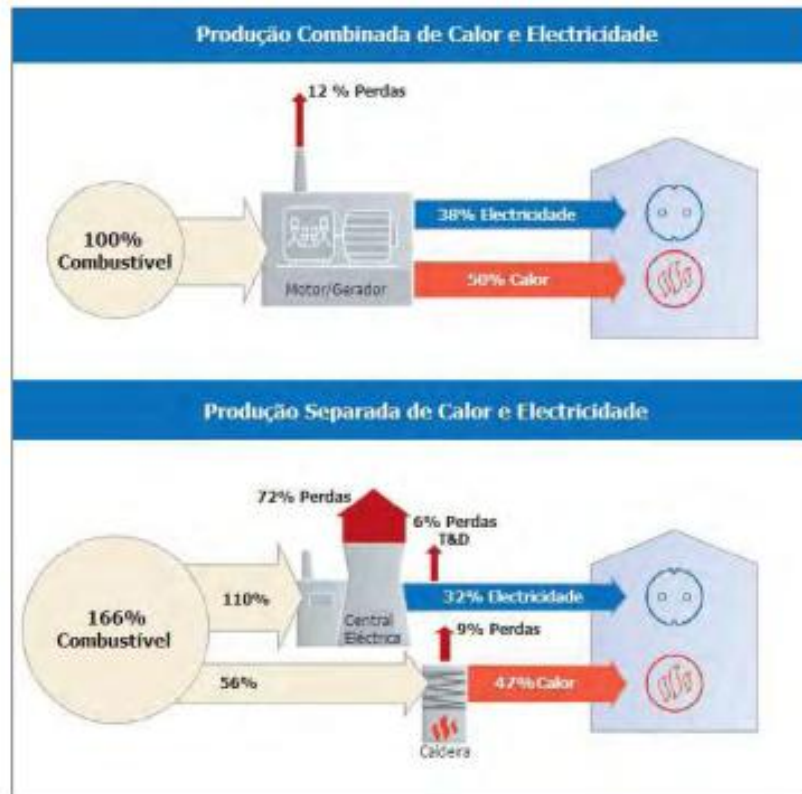



Figura 54: Produção combinada de calor e electricidade vs. produção separada [68]

Os sistemas de micro-cogeração domésticos são constituídos pela tecnologia de conversão e por uma caldeira auxiliar (Figura 55).

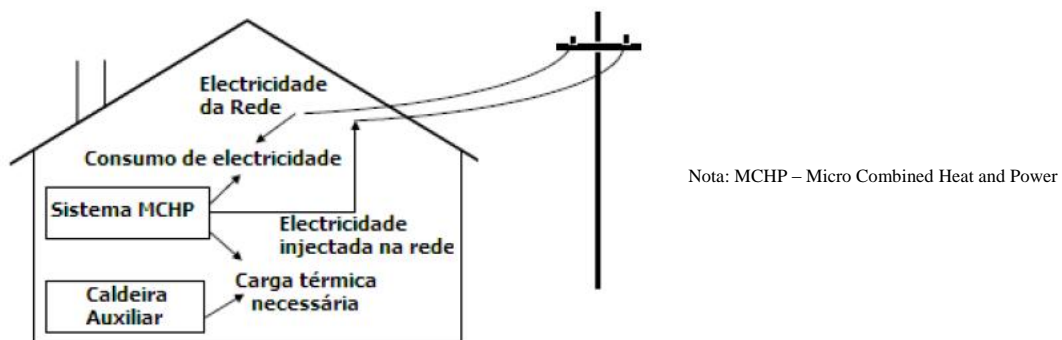



Figura 55: Esquematização de um sistema de micro-cogeração doméstico [69]

Existem diversas tecnologias de conversão, sendo as mais conhecidas as micro-turbinas e as mais recentes e mais competitivas as formadas por motores de combustão interna, motores Stirling, células de combustível e ainda os motores de expansão de vapor. Estas tecnologias podem funcionar com quase todo o tipo de combustíveis, desde os fósseis até às energias renováveis (biogás, óleo vegetal, hidrogénio, *pellets*) [68]. O processo de conversão pode ser baseado na combustão seguido da conversão do calor em energia mecânica que é convertida

em energia eléctrica recorrendo a um gerador ou ainda na conversão electroquímica de energia química para energia eléctrica (Figura 56).

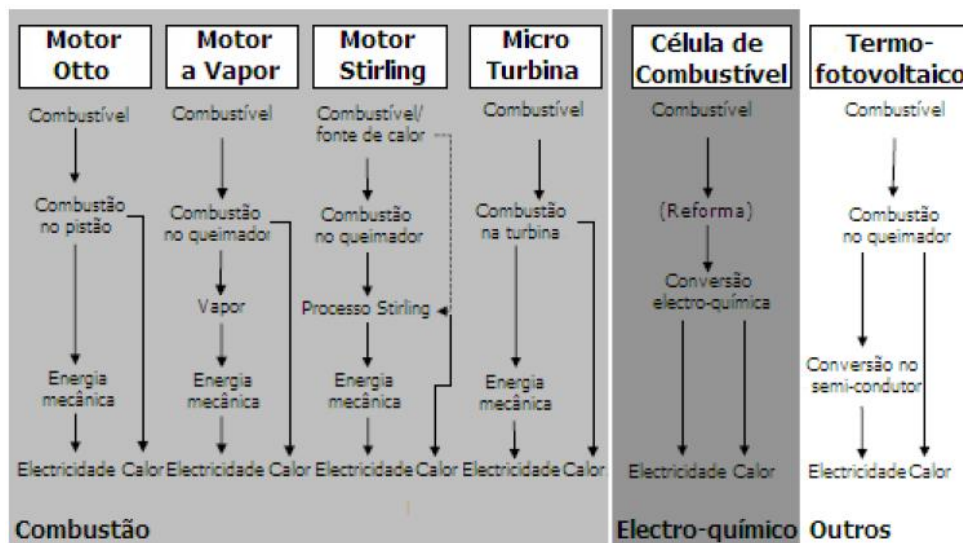



Figura 56: Processos de conversão de tecnologias de micro-cogeração [69]

A interligação destes sistemas domésticos à rede permite a venda de electricidade à rede, sendo o valor contabilizado através dos sistemas de contagem. Tendo em conta que o pico verificado nos diagramas de carga ocorre essencialmente a meio do dia e que numa residência familiar os maiores consumos se verificam à noite, é de esperar que estes sistemas possibilitem a venda de energia à rede durante o dia a um preço mais elevado devido à elevada procura e que, ao final do dia, o consumidor compre a energia a um preço mais baixo. A adaptação do horário de funcionamento dos sistemas de micro-cogeração aos picos de consumo nas redes pode ser feito com recurso ao armazenamento de energia térmica.

6.4. Microprodução - legislação

A produção descentralizada de electricidade em baixa tensão por consumidores particulares tem sido e continua a ser uma aposta conforme se pode ver pela Resolução do Conselho de Ministros nº28/2010 de 15 de Abril em que foi aprovada a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020) e que tem como principais objectivos:

- “reduzir a dependência energética do país face ao exterior através do aumento da produção de energia a partir de recursos endógenos;
- reduzir em 25% o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas;
- criar riqueza e consolidar um cluster energético no sector das energias renováveis em Portugal” [70].

Este programa, já iniciado em 2007, resultou já na instalação de mais de 5400 unidades de microprodução e que correspondem a aproximadamente 19 MW de potência instalada, em pouco mais de dois anos. De acordo com o despacho de 30 de Dezembro de 2010 da DGEG, a quota de ligação a realizar no ano de 2011 é de 29,6 MW [71].

O incentivo e remuneração da microprodução varia consoante o regime:

- regime bonificado - a remuneração tem como base a tarifa de referência que vigorar à data em que o processo de registo se considera concluído, devendo a potência de ligação ser inferior a metade da potência contratada, não ultrapassando 3.68kW ou, em caso de condomínios, 11.04 kW.
    - De acordo com este regime, a tarifa remuneratória é aplicável durante um total de 15 anos contados desde o 1.º dia do mês seguinte ao do início do fornecimento, subdivididos em dois períodos, o primeiro com a duração de 8 anos e o segundo com a duração dos subsequentes 7 anos. No final do período de 15 anos, o produtor ingressa no regime geral. A tarifa de referência é fixada em 400 € / MWh para o primeiro período e em 240 € / MWh para o segundo sendo o valor de ambas as tarifas sucessivamente reduzido anualmente em 20 € / MWh [70].
    - "A tarifa a aplicar varia consoante o tipo de energia primária utilizada, sendo determinada mediante a aplicação das seguintes percentagens:
        - Solar - 100 %;
        - Eólica - 80 %;
        - Hídrica - 40 %;
        - Co -geração a biomassa - 70 %;
        - Pilhas de combustível com base em hidrogénio proveniente de microprodução renovável - percentagem prevista nas alíneas anteriores aplicável ao tipo de energia renovável utilizado para a produção do hidrogénio;
        - Co -geração não renovável - 40 %."
- regime geral - o valor da remuneração é igual ao valor pago pela energia comprada.

Com o aumento do número de microprodutores e com condições tarifárias dinâmicas que podem mudar em tempo real, os *prosumers* terá de tomar decisões sobre como e quando produzir, consumir ou vender energia. Mais uma vez se sublinha a necessidade de um sistema que permita a gestão integrada dos vários recursos que têm vindo a ser analisados.

7. O conceito de *Smart Grids*

A evolução em torno dos veículos híbridos e eléctricos, a necessidade de encontrar alternativas aos combustíveis fósseis, a forte aposta nas energias renováveis e na geração local, as tarifas variáveis de acordo com a procura e a disponibilidade de energia possibilitam um novo paradigma que assenta na procura vista como um recurso flexível.

A procura apresenta tipicamente picos em determinados períodos horários, tendo-se vindo a apostar na Utilização Racional de Energia (Capítulo 3) e em acções de *demand response* (Capítulo 3.1) para tornar esta curva mais plana. A possibilidade de tratar a procura como um recurso flexível (Figura 57) permite o enchimento de vales e corte de picos e o seu ajustamento à produção de energia proveniente de fontes renováveis.

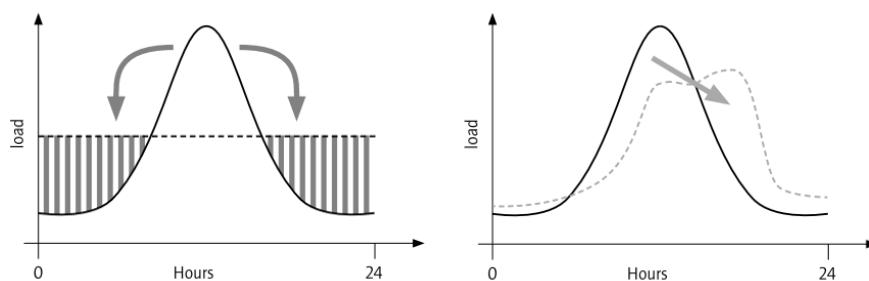



Figura 57: A procura vista como um recurso flexível [30]

As alterações que se têm verificado no sistema tradicional de transporte e distribuição de energia dão-se no sentido de uma rede inteligente [72]. A *Smart Grid* é um conceito recente de rede de distribuição de energia eléctrica em que a sua gestão está a cargo de sistemas distribuídos que efectuam uma monitorização permanente da rede e que comunicam entre si (Figura 58), sendo esperado um comportamento mais activo da parte do consumidor na gestão do seu consumo energético.

O objectivo das *smart grids* é obter uma maior eficiência, fiabilidade e segurança na distribuição de energia eléctrica, aumentar a eficiência energética e maximizar a integração das fontes de produção descentralizadas. Outro aspecto que se espera atingir com as *smart grids* é a diminuição da profundidade dos vales e a altura dos picos dos diagramas de carga, tendo o recurso a sistemas de monitorização e de gestão um papel importante nesse sentido [72].

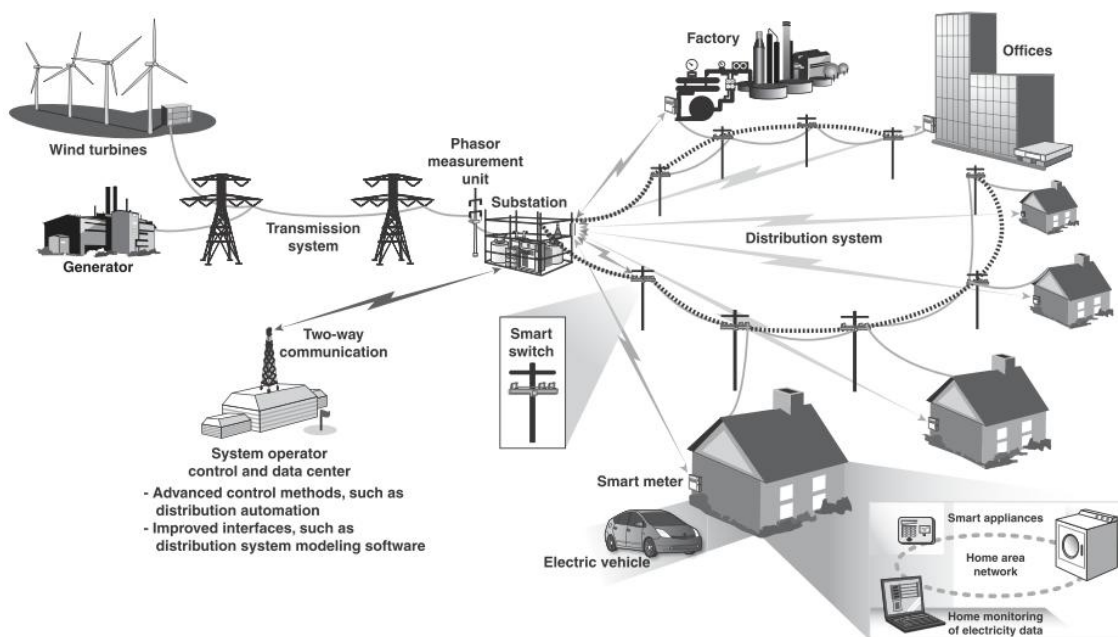



Figura 58: Esquematização do conceito de *Smart Grids* [73]

Este conceito (Figura 59) tem subjacente vários aspectos:

- o recurso a sensores e a sistemas de gestão;
- a reconfiguração da arquitectura do sistema de distribuição de uma topologia tipicamente radial para uma topologia que permite a ligação de vários pontos de geração e armazenamento distribuídos;
- uma rede capaz de se adaptar face a perturbações sem pôr a causa a sua fiabilidade, qualidade de serviço e segurança;
- a integração de fontes de energia locais;
- o recurso a sistemas de armazenamento;
- a monitorização do consumo de energia em tempo real;
- a participação activa dos consumidores e a inclusão de acções de *Demand Side Management*;
- o controlo da procura e a sua optimização dinâmica [74].

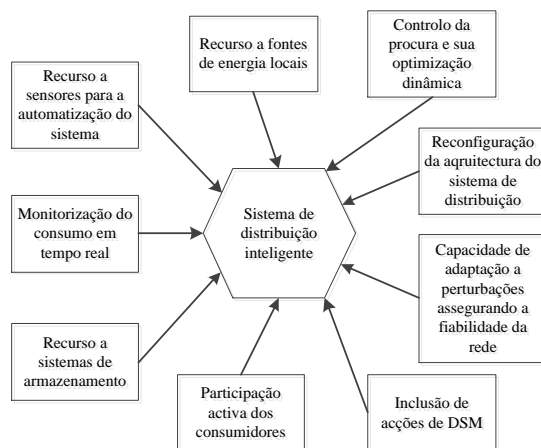



Figura 59: Características de um sistema de distribuição inteligente [74]

Todo o processo de recolha de informações sobre a disponibilidade energética nos pontos de produção e armazenamento e sobre o consumo nas cargas tem de ser feito recorrendo a sistemas automatizados de gestão de recursos. Estes sistemas devem permitir o tratamento e o envio/recepção de toda a informação necessária.

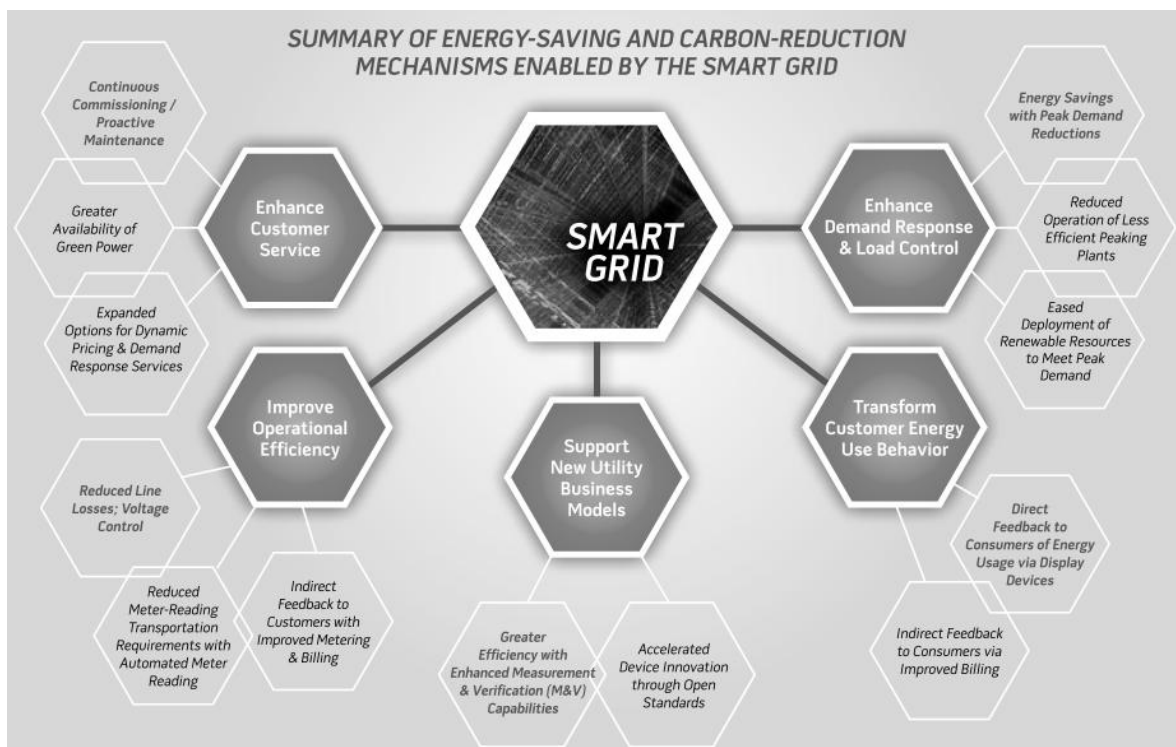



Figura 60: Alguns benefícios das *Smart Grids* [75]

Com o desenvolvimento das *smart grids* são esperadas também alterações a nível do funcionamento dos mercados de energia eléctrica. Até agora, o consumidor residencial não possui um papel activo na compra de energia nos mercados. A introdução de sistemas de

medição avançados, a variação frequente dos preços (tanto em frequência como em amplitude) e dos consumos permitirá ao consumidor uma participação mais activa e influenciará a variação dos preços [76]. As *Smart Grids* possibilitarão no futuro a comunicação bidireccional que permitirá às *utilities*[5] adoptar tarifas de preços variáveis, de acordo com a procura verificada, influenciando o uso de energia [77].

O desvio/interrupção/reparametrização de determinadas cargas que já foram referidas no Capítulo 4.1, o recurso a sistemas de armazenamento e a maximização da integração das renováveis terão forte impacto na procura e no consumo de energia, pelo que serão sentidas alterações na elasticidade preço da procura[6]. O aumento da elasticidade traduzir-se-á em benefícios tanto para o mercado eléctrico, como para o consumidor [72].

De modo resumido, pode-se dizer que a evolução do sistema de distribuição de energia tradicional para as *smart grids* trará vantagens para todos os intervenientes da rede para além de contribuir para a integração das renováveis e diminuição da dependência de combustíveis fósseis. O recurso a sistemas de gestão possibilitará também que os consumidores tirem partido das variações dos preços e adaptem o seu consumo (incluindo o armazenamento). Por outro lado, a contínua monitorização da procura e a comunicação bidireccional permitirá às *utilities* conhecer quase em tempo real os consumos de modo a optimizarem o *mix* das fontes de energia eléctrica [76].

[5] Empresa que presta um serviço público, neste caso no sector eléctrico.

[6] A elasticidade preço da procura dá a variação na quantidade procurada face a uma variação no preço, constituindo uma medida de sensibilidade dos consumidores a variações no preço dos produtos.

8. O conceito de *Smart Appliances*

8.1. Definição do conceito

Vários estudos têm sido feitos em torno da necessidade de:

- reestruturação das redes de electricidade para lidar com a intermitência das fontes renováveis;
- mitigar os efeitos indesejáveis e potenciar o seu uso.

O progresso já feito nas previsões, por exemplo, da energia eólica permite aumentar a fiabilidade dos sistemas e o recurso a sistemas de armazenamento possibilita um maior aproveitamento desta fonte. Todavia, continua a existir a necessidade de um sistema que permita a maximização da integração das energias renováveis em tempo real e em especial no sector residencial, com claros benefícios económicos para o consumidor.

O projecto Smart-A [30] analisou as características que permitem que determinadas cargas domésticas sejam sujeitas a acções no âmbito dos programas de *Demand Response* maximizando a integração das energias renováveis. Neste contexto foi delineado o conceito de *Smart Appliances* e os pressupostos de como e quando estes electrodomésticos podem ser ligados a uma rede inteligente de modo a incluir a cogeração e a produção de electricidade a partir de geradores eólicos e sistemas fotovoltaicos (Figura 61).

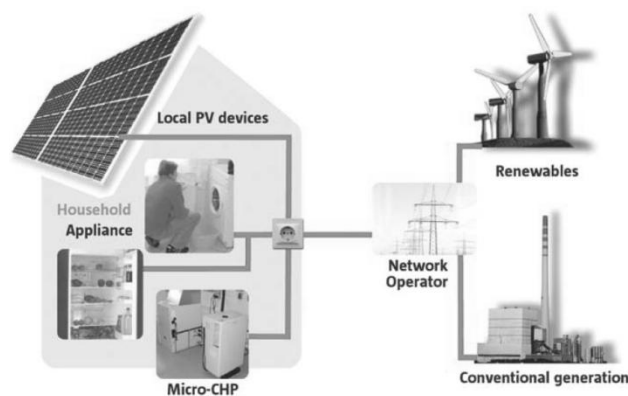



Figura 61: Esquematização do conceito de *Smart Appliance* [30]

Foram definidos como *smart appliances* dez equipamentos: frigoríficos, arcas congeladoras, máquinas de lavar louça e roupa, secadores de roupa, fornos, fogões, sistemas de ar condicionado, bombas de circulação para sistemas de aquecimento e termoacumuladores.

Para as cargas acima enumeradas, tendo algumas delas já sido consideradas no capítulo 4.1, de acordo com o conceito de *Smart Appliances* dois tipos de acções são possíveis (Tabela 6):

1. o agendamento a hora a que se pretende que o ciclo esteja terminado, como por exemplo a hora a que o consumidor regressa a casa, cabendo ao algoritmo optimizar, dentro desse intervalo de tempo, a melhor hora para iniciar o ciclo que pode ser, no limite, o estritamente necessário para acabar à hora pretendida, ou outra hora de acordo com base nos sinais de preço;
2. a interrupção do ciclo por um determinado período de tempo obedecendo a certas restrições:
    a. manutenção da qualidade do serviço – por exemplo, não permitir que os alimentos armazenados no frigorífico se estraguem ou os da arca descongelem;
    b. o evitar de perdas – energia desperdiçada para aquecer a água num termoacumulador ou para aquecer uma determinada divisão [30].

Tabela 6: Tipos de acção possíveis com os Smart Appliances e respectivas janelas de tempo [30]

	Antecipação ou adiamento da entrada em serviço:	Interrupções
Máquina de lavar roupa	3-6 horas	15 min
Máquina de secar roupa	3-6 horas	30 min
Máquina de lavar louça	3-8 horas	15 min
Frigorífico/Combinado	30 min	15 min
Arca congeladora	30 min	15 min

O controlo será feito individualmente em cada carga cabendo ao consumidor optar pelo:

1. modo automático, em que o funcionamento é decidido pelo controlador interno;
2. modo semi-automático, em que é pedida alguma informação ao consumidor (como, por exemplo, a que horas pretende que o ciclo esteja terminado);
3. modo manual, em que o ciclo de funcionamento se inicia quando o consumidor carrega no botão.

A simplicidade deste processo está no controlo interno de cada um dos equipamentos, que é independente do dos outros electrodomésticos. No entanto, apesar de este método permitir a

escolha do melhor período de tempo para o funcionamento do electrodoméstico quando o consumidor opta pelo modo automático ou semi-automático, não permite a gestão integrada de todos os recursos energéticos nem impede que, num caso extremo, várias cargas sejam postas em funcionamento em simultâneo originando um pico de consumo.

De forma sucinta, pode-se dizer que os *Smart Appliances* permitiriam uma redução momentânea da procura seguido de um período de recuperação. O adiamento do funcionamento de um equipamento ou a sua interrupção resulta claramente na redução do consumo por um determinado período de tempo em comparação com o caso normal sem recurso a qualquer controlador. Contudo o restabelecimento do funcionamento contribui para o aumento da potência pedida à rede quando comparada com o valor que teria em caso de não alteração do regime de funcionamento. Tal problemática deixa antever a necessidade de um sistema integrado de gestão local que considere todas as cargas e consiga antever picos de consumo de modo a evitá-los, ou de um sistema de gestão global do lado da *utility* que seja dotado de inteligência para efectuar uma análise e proceder ao controlo das cargas dentro do período de tempo previamente agendado [30].

Deste modo, o conceito de *Smart Appliances* defende que imediatamente após o período de redução do consumo pode não se seguir o período de recuperação conforme se pode observar na Figura 62 onde:

- a diferença de consumo entre o caso de funcionamento normal sem influência de qualquer tipo de controlador e o caso em que se recorre a um controlador interno para gerir o funcionamento dos equipamentos é representada por p;
- a duração do período de redução de carga é $\Delta t1$;
- a duração do período de recuperação é $F \times \Delta t1$;
- o factor F corresponde à redução ou ao aumento do período de recuperação quando comparado com $\Delta t1$;
- o factor E representa as eventuais perdas de energia entre a redução de carga e a sua posterior recuperação.

Assim, durante o período de recuperação, o consumo de energia pode ser igual ou superior ao verificado aquando da redução.

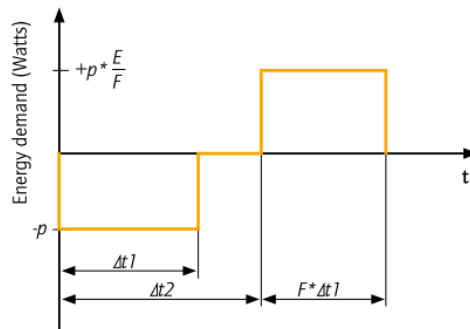



Figura 62: Descrição esquemática de acções sobre cargas no sector residencial [30]

8.2. Dificuldades da implementação prática do conceito

As principais barreiras associadas à implementação prática deste conceito estão:

- nos consumidores:
    - em permitir o controlo automático dos seus equipamentos sem a sua intervenção e sua supervisão;
    - em relação à privacidade dos seus dados e preocupações com o seu uso indevido.
- na necessidade de aposta no desenvolvimento destes equipamentos com controlador.

O sucesso deste conceito, que trará benefícios económicos para o consumidor para além da maximização da integração das renováveis, depende:

- do envolvimento dos fabricantes;
- da introdução de nova tecnologia desde o desenvolvimento de sistemas de segurança até aos controladores internos individualizados para cada electrodoméstico com o intuito de:
    - garantir maior fiabilidade;
    - transmitir uma maior confiança aos consumidores quanto ao funcionamento em modo automático e sem supervisão dos equipamentos [78].

Neste contexto, estes electrodomésticos deixam de ser equipamentos que se limitam a consumir energia da rede, passando a ser equipamentos que contribuem para a maximização da integração das energias renováveis permitindo a diminuição da factura eléctrica do consumidor e a necessidade de investimento em novas centrais para fazer face à procura.

9. O conceito de *Energy Box*

9.1. Definição do conceito

O conceito de *Energy Box* foi proposto por Livengood e Larson [79] como um "processador a funcionar continuamente em *background* para gerir de forma inteligente a utilização de energia eléctrica numa residência ou pequeno comércio/serviços, respondendo a sinais de preços, requisitos de conforto, etc.". Este sistema de gestão de energia automatizado tem por objectivo tomar as melhores decisões face a um conjunto de variáveis que podem ir desde o preço da energia, as previsões de temperatura, a disponibilidade de energia produzida por fontes renováveis até às preferências do consumidor face ao uso de determinados equipamentos. A *Energy Box* pretende explorar a flexibilidade que os consumidores têm em alterar alguns dos seus consumos de electricidade de modo a "induzir alterações nos padrões de consumo através de tarifas variáveis no tempo para obter um controlo óptimo do sistema global".

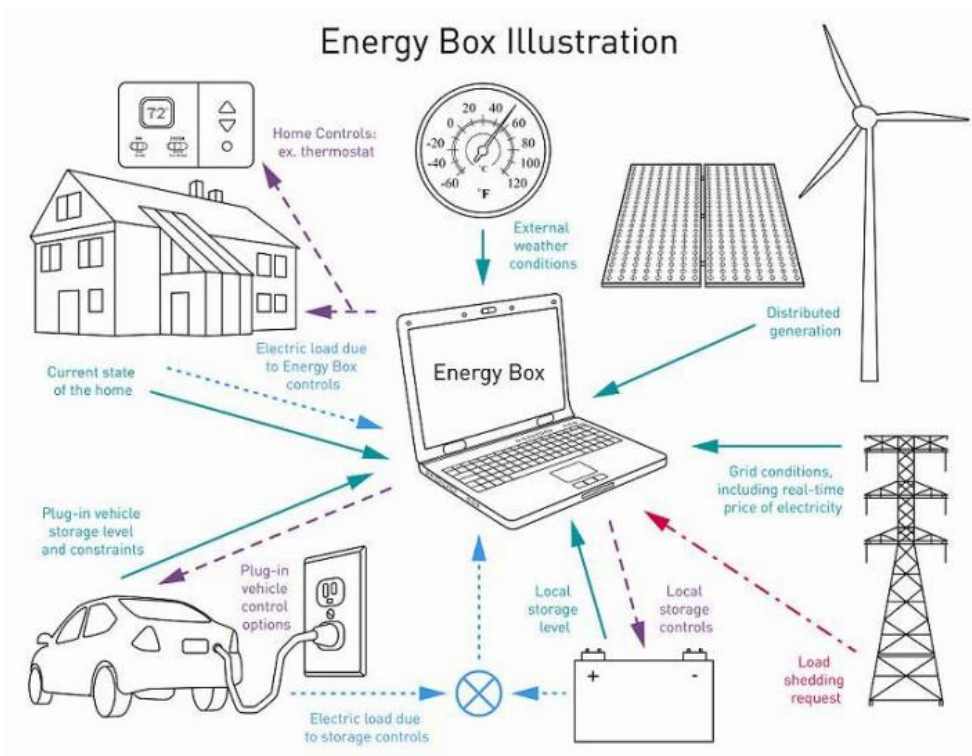



Figura 63: Ilustração do conceito de *Energy Box* [79]

9.2. *Energy Box* e o consumidor

A transmissão de conhecimentos sobre o uso racional de energia eléctrica está na base da alteração dos comportamentos. Parte-se do princípio que um consumidor consciente e conhecedor terá comportamentos energeticamente mais eficientes do que um consumidor que não está a par dos comportamentos energeticamente eficientes e de tecnologias que permitam reduções de consumos. No entanto, só a transmissão dos conhecimentos em si não basta. É necessário encontrar estratégias que assegurem a mudança e a manutenção duradoura dos novos comportamentos [80] e compreender as motivações subjacentes a determinados comportamentos (Figura 64).

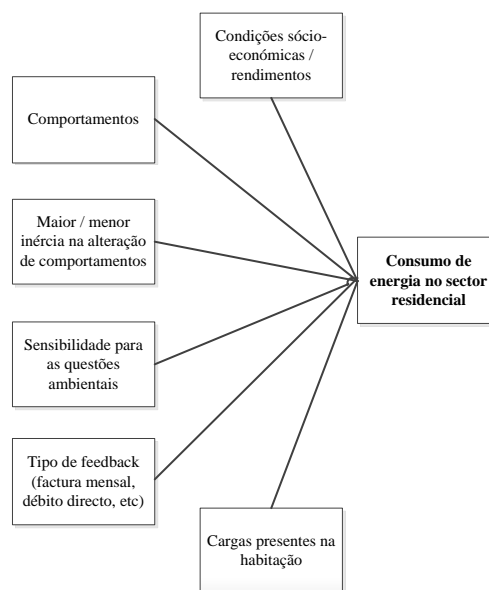



Figura 64: Factores que motivam comportamentos [81]

Os comportamentos energeticamente mais eficientes têm então mais hipótese de serem adoptados se:

- mostrarem claramente que não há degradação da qualidade de vida nem do conforto [82]
- se traduzirem na diminuição da factura de energia eléctrica [83, 84];
- a informação promovida for clara e de certa forma personalizada, sensibilizando o consumidor para o impacto do seu consumo [85];
- os novos comportamentos forem fáceis de adoptar, contribuindo os sistemas de gestão automáticos para a minimização da influência deste factor.

Vários estudos desenvolvidos mostram que o recurso a um *feedback* regular e directo com a informação do consumo verificado, dos custos associados e dos impactos ambientais, tem

uma maior influência na alteração dos comportamentos e indicam poupanças de energia na ordem dos 5-20% [27, 86, 87]. O uso de sistemas de monitorização de consumos permite que os consumidores, com uma atitude pró-activa, verifiquem numa base mais regular e quando o pretendam os seus consumos e se apercebam de consumos demasiado elevados originados por cargas que não deveriam estar a consumir naquele momento (Figura 65), como por exemplo equipamentos em *standby* quando tudo o resto está desligado, aquecedores eventualmente esquecidos e luzes acesas.

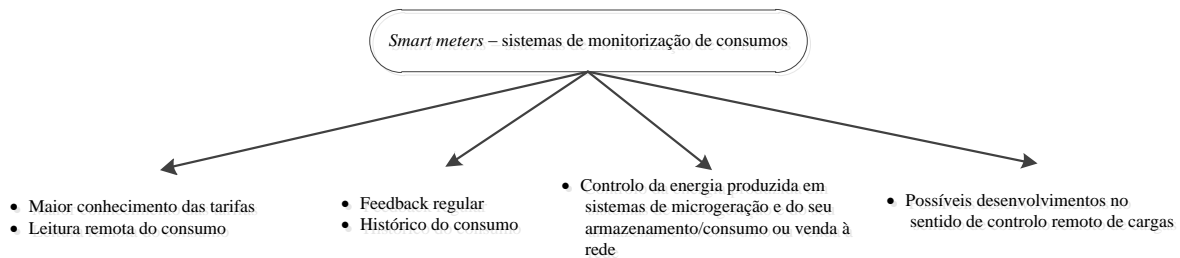



Figura 65: Potencial do impacto do uso de *smart meters* (*feedback* directo) [88]

No entanto, este *feedback* exige uma atitude pró-activa da parte consumidor, no sentido de ser capaz e estar interessado em reagir a este tipo de estímulos, que pode diminuir ao longo do tempo. Se se dispuser de um modo de controlo automatizado dos recursos, então a alteração dos comportamentos será automatizada, respeitando no entanto as preferências dos consumidores e contribuindo para a minimização da sua factura eléctrica.

Considerando:

- o resultado de vários estudos que demonstram que o actual modo de facturação da electricidade não permite ao consumidor aperceber-se inteiramente dos padrões de consumo, nem dos equipamentos que mais contribuem para esse consumo;
- o facto dos consumidores não verem os preços em tempo real (ou aproximadamente em tempo real);
- a impossibilidade de armazenamento de electricidade em condições técnicas e económicas atractivas;

constata-se que a elasticidade preço da procura de electricidade é muito baixa. Esta baixa elasticidade preço da procura da electricidade no sector residencial faz com que a existência de sistemas automáticos de gestão e controlo seja premente quando se pretende tirar partido quer dos preços em tempo real (ou pelo menos com variações temporais mais frequentes), quer do potencial do sector para programas do tipo .

A disponibilização da informação de preços em tempo real e o uso da *Energy Box*, permite que um consumidor reduza o seu consumo durante períodos críticos, que tire partido

de períodos em que o kWh tem um preço mais reduzido e que maximize os benefícios provenientes do recurso a sistemas de microgeração, contribuindo para o equilíbrio oferta-procura que deve existir nos SEE [89].

Em oposição ao conceito de *Smart Appliances*, o controlo será mediante a implementação de um sistema que gere conjuntamente todos os recursos energéticos, e não através de um controlador interno em cada aparelho que reage consoante os sinais de entrada. Idealmente este sistema permitirá também a gestão do carregamento dos veículos eléctricos de modo individualizado, tendo em conta a geração local, o que possibilita o armazenamento de energia renovável produzida em períodos de menor procura e a seu posterior inserção na rede durante períodos de maior procura.

Na Figura 66 é possível observar a relação entre os perfis-tipo de consumo em baixa tensão normal em Portugal, de utilização esperada do veículo eléctrico e da produção em regime especial.

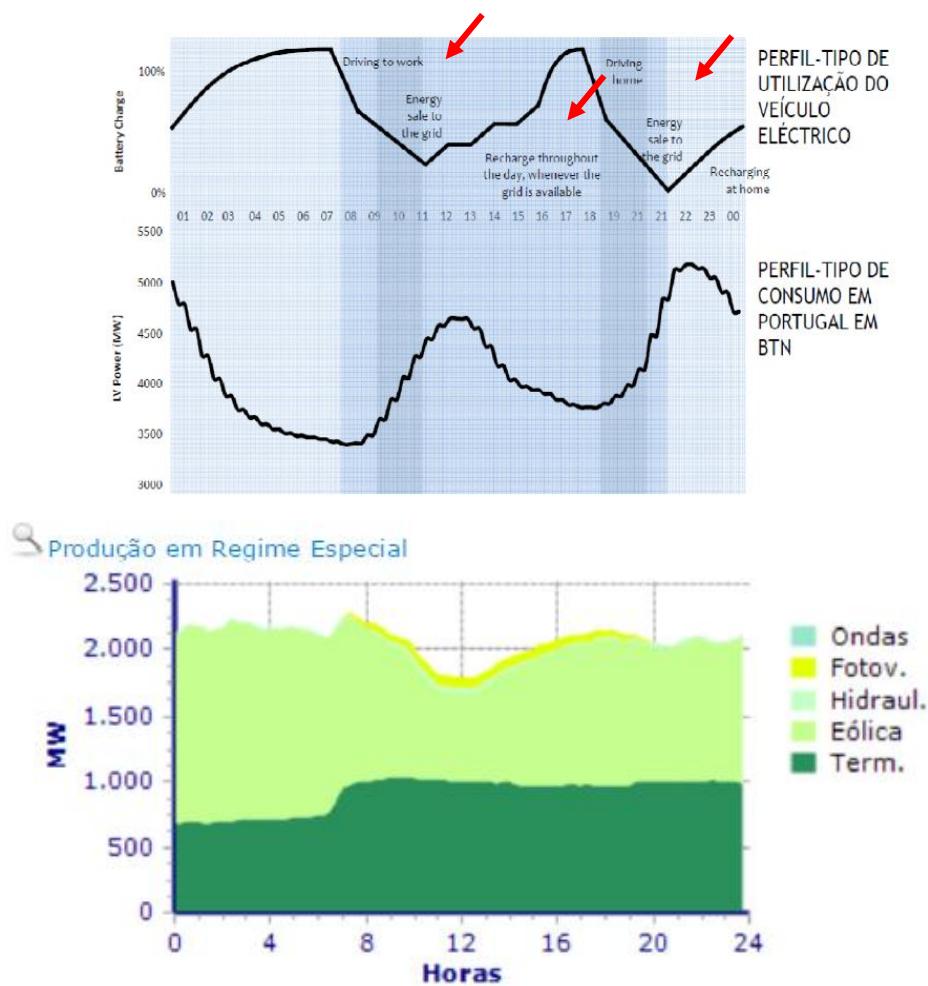



Figura 66: Perfis de consumo BTN e de utilização do VE [54]
e produção em regime especial a 2 Agosto 2007 [67]

Um sistema de gestão com um algoritmo de optimização que permita a integração do veículo eléctrico e a maximização da integração das energias renováveis apresenta então muitas vantagens com claros benefícios económicos para o consumidor e facilitando a tomada de decisões, possibilitando uma utilização optimizada dos vários recursos energéticos.

10. Requisitos em termos de comunicação

Para que a implementação do conceito de Energy Box seja possível tem de ser assegurada uma infra-estrutura de comunicação que permita o fluxo dos dados necessários, tendo em conta que no contexto das *smart grids* os requisitos em termos de comunicação passam pela necessidade de:

- gerir activamente os vários recursos energéticos;
- controlar a produção local;
- efectuar uma medição mais detalhada e quase em tempo real dos consumos;
- disponibilizar esses dados a diversas entidades (entre os quais a *utility* e o consumidor);
- monitorizar o estado da rede e gerir activamente a rede.

Neste capítulo será focado o *ZigBee*, uma vez que é uma tecnologia já bastante usada em domótica e que se prevê que possa ser usada em futuros sistemas de gestão de recursos energéticos já no contexto das *smart grids*, com um reduzido consumo energético e elevada fiabilidade [90].

Uma das recentes apostas da *ZigBee Alliance* tem sido precisamente na área dos sistemas de gestão de energia, com enfoque na possibilidade das *utilities* e outras empresas comercializadoras de energia comunicarem directamente com alguns equipamentos. O *ZigBee Smart Energy* pretende facilitar a introdução dos contadores inteligentes, a implementação de programas de *Demand Response* e programas de promoção da eficiência energética [62].

Algumas das características mais importantes do *ZigBee* assentam:

- no seu reduzido consumo de energia e elevada fiabilidade e segurança;
- nos dois estados possíveis de operação e na rapidez de passagem de um estado para o outro:
    - *active* – durante o envio ou recepção de dados;
    - *sleep* – nas outras situações.
- nas diferentes topologias possíveis;
- no suporte de duas classes de dispositivos:
    - FFD (*Full Function Device*) – pode funcionar qualquer que seja a topologia da rede tendo como função a de coordenador;
    - RFD (*Reduced Function Device*) – limitado a uma configuração com topologia em estrela, não podendo actuar como coordenador de rede [91].
- nos três tipos de dispositivos lógicos:

- *coordinator* – forma a rede e atribui endereços; existe um por rede.
- *router* – aumenta o alcance físico da rede e permite que mais nós façam parte da rede; pode ter também função de controlo e/ou monitorização; não é obrigatória a sua existência.
- *endpoint* – efectua acção de controlo ou monitorização através do dispositivo que lhe está associado (sensor, controlador, etc).

- na existência de dois modos de operação:
  - *beaconing* – os nós *ZigBee Routers* transmitem aos outros nós periodicamente sinalização (*beacons*) a confirmar a sua presença, sendo apenas necessário a esses nós estarem activos durante o momento de sinalização;
  - *non-beaconing* – a maioria dos dispositivos mantém os seus receptores activos, resultando num aumento do consumo energético.
- na possibilidade de suportar uma elevada densidade de nós por rede (mais de 65 mil dispositivos por cada *ZigBee Coordinator*).

As topologias suportadas pelo *ZigBee* são (Figura 67):

1. em estrela – existe um controlador central a que se dá o nome de *PAN coordinator (Personal Area Network)* responsável pela comunicação entre os vários dispositivos, pelo que toda a informação passa por este nó;
2. *mesh* – possui também um controlador central, mas ao contrário da topologia em estrela, permite a comunicação directa entre os dispositivos do tipo FFD (*Coordinator/Routers*), pelo que o *coordinator* já não exerce um papel tão central;
3. *cluster-tree* – tem semelhanças com a topologia anterior, mas a distribuição das mensagens de controlo tem uma estrutura hierárquica cabendo ao *coordinator* assegurar o papel central.

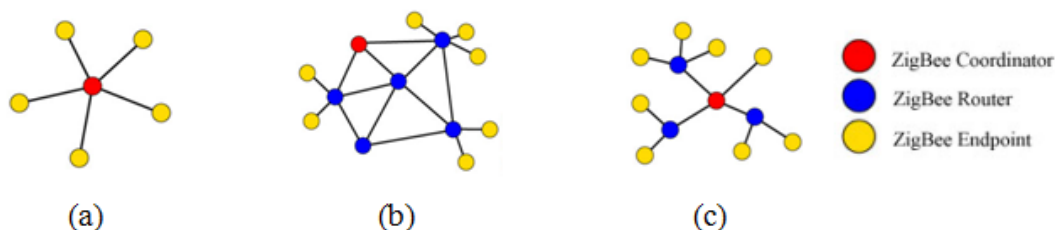



Figura 67: Topologia da rede (a) em estrela, (b) *mesh*, (c) *cluster-tree* [92]

11. Implementação do conceito *Energy Box*

11.1. Diferentes perspectivas

A identificação dos diferentes intervenientes na rede na sua perspectiva mais global e dos seus objectivos e interesses é muito importante para o futuro desenvolvimento dos algoritmos capazes de gerir os vários recursos energéticos.

Do ponto de vista dos produtores existe:

- a capacidade de produção dependente de investimentos em tecnologias/centrais;
- a produção dependente de vários factores (Tabela 7);

Tabela 7: Produção de electricidade e factores de que depende

Produção de energia eléctrica recorrendo a:	Factores de que depende:
Energias Renováveis: • Energia solar • energia hídrica • energia eólica	• disponibilidade dos recursos variável com: ○ o período do dia; ○ a estação do ano.
Cogeração	• actividade produtiva
Combustíveis fósseis: • Gás/Petróleo/Carvão	• custos ○ do combustível ○ das licenças de emissão de CO_2

- a capacidade de armazenamento limitada;
- a necessidade de conhecer a concorrência a nível da produção de modo a:
  - optimizar ganhos imediatos;
  - optimizar a qualidade de serviço;
  - optimizar os ganhos a longo prazo com a obtenção de uma maior quota de mercado.

Do lado da rede de transporte existe a necessidade de:

- diminuir os custos e aumentar as receitas com:
  - um dimensionamento adequado da rede e diminuição das perdas.
- aumentar a fiabilidade da rede diminuindo os custos de manutenção.

Outra perspectiva é a dos comercializadores e fornecedores e engloba a necessidade de:

- gerir o seu universo de clientes fazendo sobressair:
  - a qualidade do serviço prestado;

- a sua diferença na política de preços;
    - a existência de serviços de energia que podem atrair novos clientes e reter os actuais.
- recorrer à procura e usar a contribuição das várias cargas para manter o equilíbrio oferta-procura através de:
    - políticas de preços para induzir alterações na/controlar a procura;
    - outros incentivos para o armazenamento de energia, diminuindo os picos de consumo.
- conhecer as suas características (preços que pratica, sazonalidades a que está sujeita, universo de clientes que possui, os produtores a que está ligada) e comparar com as da concorrência de modo a:
    - optimizar os seus ganhos;
    - optimizar a quota de mercado;
    - cumprir com a qualidade de serviço a que se propôs nos contratos e exigida pela entidade reguladora.

No que diz respeito ao consumidor final, interessa-lhe:

- a minimização da factura de energia eléctrica através da:
    - sensibilização para os consumos dos equipamentos que possui;
    - alteração de consumos
        - antecipar ou adiar a entrada ao serviço de determinados equipamentos em função do preço do kWh;
        - regulação dos *setpoints* definidos nos sistemas de aquecimento de água e do ambiente recorrendo ao uso de termóstatos inteligentes.
- a optimização dos vários recursos descritos ao longo deste trabalho.

À entidade reguladora cabe-lhe:

- garantir condições que permitam a satisfação de forma eficiente da procura de energia eléctrica;
- proteger o interesse dos consumidores no que diz respeito à qualidade de serviço e aos preços;
- garantir às entidades concessionárias a existência de condições para obtenção do equilíbrio económico e financeiro necessário ao cumprimento das suas obrigações;
- fomentar a competição;
- regulação dos preços máximos e mínimos entre os produtores e os distribuidores;

- contribuir para a utilização eficiente de energia;
- assegurar a supervisão e a qualidade de serviço.

11.2. Desenvolvimento dos algoritmos para controlo do recursos energéticos

Para que seja possível a implementação de um sistema de gestão integrada de recursos é necessário o desenvolvimento de algoritmos adequados baseados em técnicas de investigação operacional para apoio à decisão, com capacidade de aprendizagem e capazes de levar em conta também a questões de operacionalidade e facilidade de adopção.

A operacionalidade engloba não só a necessidade de um adequado *interface* Homem-máquina mas também requisitos mínimos de informação de *input* ou de intervenção do utilizador, com perturbações mínimas ou nulas nas actividades ou trabalhos em curso associados ao serviço de energia.

A penetração em larga escala deste conceito, com a inerente adopção de tecnologias e metodologias a ele associadas, levará à necessidade de adoptar estratégias agregadoras de gestão conjunta, quer com objectivos de maximizar o potencial impacto da massificação do conceito, quer para evitar potenciais impactos negativos que estratégias de gestão individual possam acarretar.

Antes do desenvolvimento dos algoritmos é importante identificar o nível de agregação a que se pretende trabalhar e o cliente alvo (produtor, distribuidor, consumidor).

Em relação ao nível de agregação podem ser considerados dois níveis:

- o nível superior: implica a coordenação das múltiplas *Energy Box*
    - evitando situações limite, tais como o ligar simultâneo de muitas cargas, provocando um pico na procura;
    - permitindo também, em caso de emergência ou instabilidade do sistema, a comunicação de sinais que aos serem recebidos por cada *Energy Box* desligue cargas supérfluas;
    - possibilidade de tirar partido das diferenças nas variações dos preços no mercado grossista e no mercado retalhista;
    - optimização do funcionamento do sistema (perdas, integração de renováveis, etc).
- o nível mais baixo: uso da *Energy Box* numa dada habitação, de forma individualizada e cuja configuração depende dos hábitos e preferências de cada consumidor:

- possibilitando o controlo de forma automatizada dos vários recursos;
  - permitindo ao consumidor tirar partido das variações dos preços;
  - possivelmente reduzindo a sua factura energética.

Assumindo que a implementação dos algoritmos pretende ser para um nível de agregação baixo, i.e., para uma *Energy Box* individualizada e que se pretende gerir todos os recursos que foram referidos ao longo deste trabalho, pode-se esquematizar num diagrama os aspectos a considerar (Figura 68).

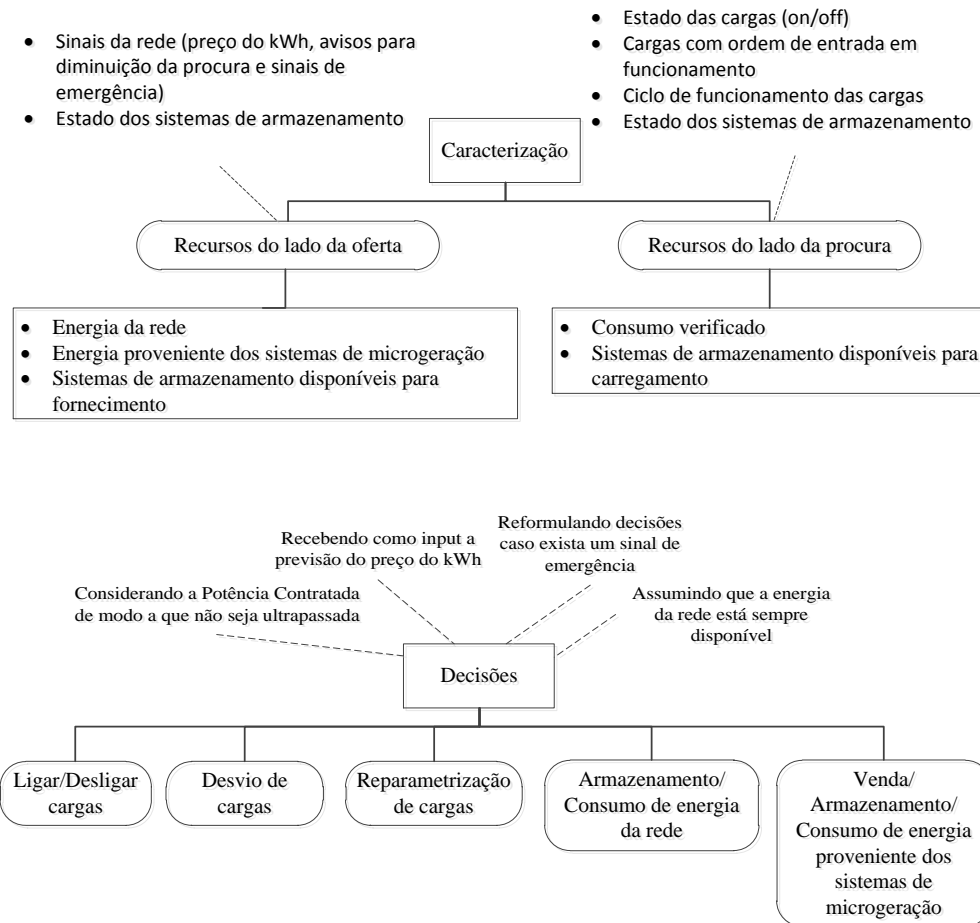



Figura 68: Aspectos a considerar para o desenvolvimento dos algoritmos

A caracterização dos recursos energéticos disponíveis podem ser divididos em recursos do lado da oferta e da procura. Do lado da oferta existem:

- sinais que servem como inputs:
  - o preço do kWh;
  - pedidos para diminuição da procura;
  - sinais de emergência que implicam o desligar de cargas de modo automatizado.
- informações relativas à energia da rede e dos sistemas de microprodução;

- os sistemas de armazenamento de energia que estão em posição de fornecer energia para consumo local ou para venda à rede.

Do lado da procura temos:

- sinais que servem como inputs:
    - estado das cargas, ciclo de funcionamento e ordens dadas pelo consumidor;
    - estado dos sistemas de armazenamento.
- o consumo das diferentes cargas;
- o estado dos sistemas de armazenamento, incluindo as baterias de um veículo eléctrico.

As decisões são tomadas de acordo com as ordens dadas pelos algoritmos de controlo que levam em consideração os vários inputs do lado da oferta e da procura, tendo como objectivo minimizar a factura eléctrica do consumidor residencial em questão.

Os estudos relativos ao consumo de energia eléctrica no sector residencial encontram-se muitas vezes agregados, o que não permite a identificação de comportamentos individuais. Os hábitos e preferências de cada consumidor e os diferentes recursos energéticos que possui são um factor chave na implementação dos algoritmos. Também o carácter estocástico respeitante à utilização das diversas cargas deve ser considerado (hábitos, estilo de vida, número de electrodomésticos e respectivos usos). Em vários estudos, recorre-se ao método de Monte Carlo para estabelecer simulações para o uso dos diferentes electrodomésticos [93-96].

Todo o levantamento que foi feito nos Capítulos anteriores justifica-se precisamente com a importância da caracterização dos vários recursos e com a disparidade que pode ocorrer entre os vários consumidores.

No Capítulo 4.1 foram descritas algumas cargas do sector residencial incluindo os diagramas de carga médio e, no caso de alguns equipamentos, também os ciclo típicos de funcionamento. Esse levantamento e descrição permite identificar os equipamentos que podem e devem ser controlados pela *Energy Box* bem como categorizá-los.

Dos vários equipamentos referidos no Capítulo 4, apenas os equipamentos audiovisuais e informáticos não permitem antecipar/adiar o seu funcionamento ou a sua interrupção/alteração por um determinado período de tempo. Isto deve-se ao facto de estes equipamentos serem ligados precisamente quando o consumidor os pretende usar para entretenimento /trabalho. No entanto, são equipamentos que a *Energy Box* pode controlar e desligar quando estão em *standby*, recorrendo para tal à medição do seu consumo.

Os algoritmos a desenvolver deverão ser capazes de lidar com diferentes recursos e perfis de modo a encontrar a melhor combinação de funcionamento de cargas, incluindo a venda/compra ou armazenamento de energia à rede.

12. Conclusão

Este trabalho permite ter uma visão aprofundada dos recursos energéticos presentes no sector residencial e do potencial de controlo de cargas existente mediante a implementação de um sistema Energy Box.

Na Figura 69 é apresentado a percentagem de cargas controláveis, ajustáveis no tempo e não controláveis. Essa percentagem foi calculada recorrendo aos dados da DGGE e ao consumo anual de electricidade desagregado verificado no sector residencial [22] e obedecendo à categorização estabelecida no Capítulo 4.2.

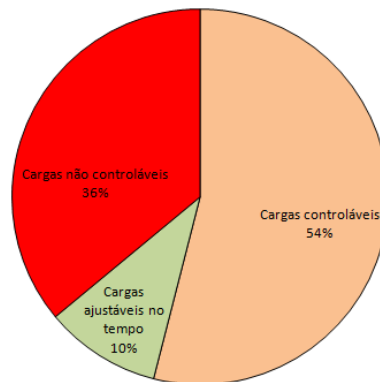



Figura 69: Distribuição das cargas por categorias

É também possível fazer a categorização das cargas considerando o grau de controlo que possibilitam e que se espera ser o mais típico e o consumo de electricidade anual que representam. Na Figura 70, em que está no eixo das ordenadas o grau de controlo (a cheio o controlo típico esperado e a tracejado o que também é possível, mas menos esperado) e no eixo das abcissas o consumo anual das cargas, encontra-se essa representação das cargas:

- no primeiro quadrante estão representadas as cargas que possuem um maior consumo de energia anual e cujo funcionamento pode ser:
    - interrompido – frigoríficos/combinados;
    - ou reparametrizado – aquecimento ambiente;
- no segundo quadrante estão as cargas que não apresentam um consumo tão elevado mas cujo funcionamento pode ser:
    - reagendado dentro de um determinado período de tempo – máquinas de lavar e secar;
    - interrompido – congelador;
    - reparametrizado – AQS eléctrico e arrefecimento ambiente;

- no terceiro quadrante estão as cargas que não podem ser controladas mas cujo consumo anual global abaixo dos 1500 GWh.
- no quarto quadrante estariam apresentadas as cargas que possuem um consumo superior a 1500 GWh e que não apresentam possibilidade de controlo.

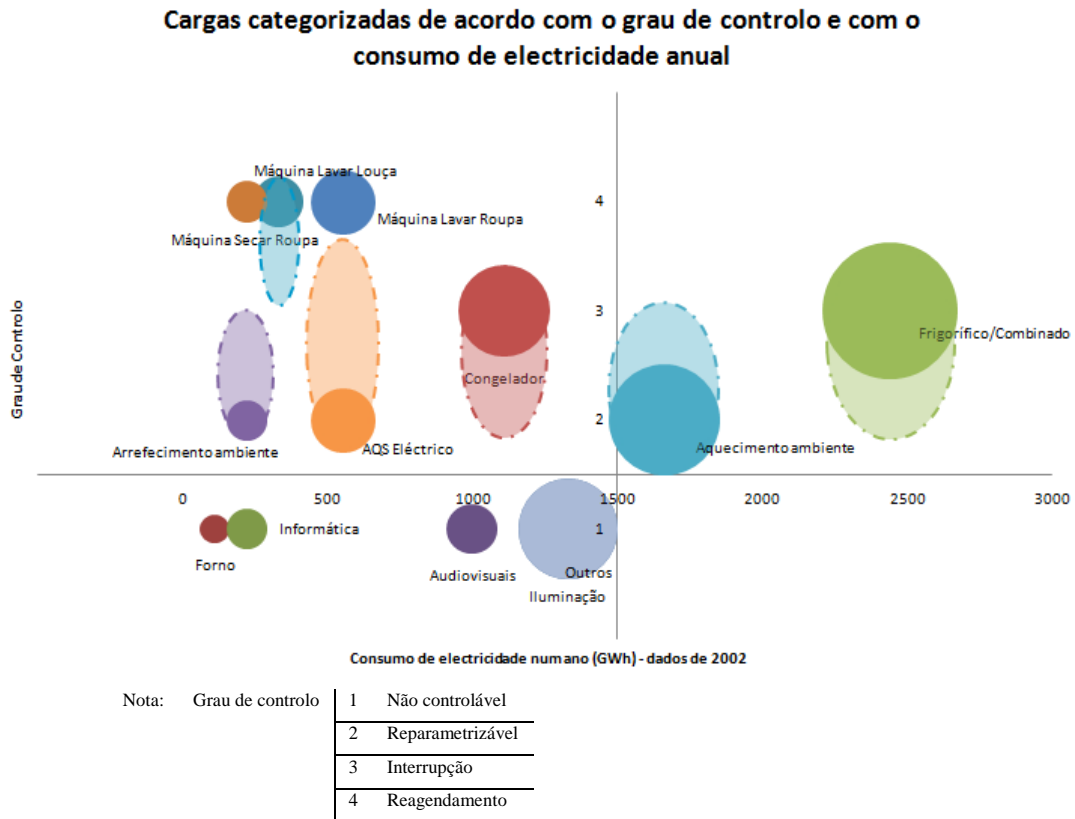



Figura 70: Categorização das cargas de acordo com o grau de controlo que permitem e que se espera ser o mais usado e com o seu consumo de electricidade anual

Face aos possíveis avanços tecnológicos nos SEE, à elevada penetração de fontes de energia renováveis e sistemas de microprodução e ao progressivo aumento de energia no sector residencial surge a necessidade de controlo dos vários recursos energéticos: cargas típicas desse sector e sistemas de armazenamento, incluindo os veículos eléctricos.

Apesar de poder ser argumentado que actualmente ainda não estão implementadas as *Smart Grids* nem a variação do preço do KWh para o consumidor residencial em tempo real ou mesmo "one-day ahead", variando esse preço apenas consoante as tarifas escolhidas pelo consumidor (tarifa simples, bi-horária e tri-horária), a evolução dos SEE de energia apontam nesse sentido. Isto não quer dizer que estes conceitos sejam aplicados na prática tal e qual como são apresentados nos vários Capítulos, mas certamente que existirá interesse em tirar partido de uma rede mais inteligente que permita a comunicação em ambos os sentidos e a variação do preço do kWh de acordo com a procura e a oferta no momento. Essa variação dos

preços irá depender, entre outros factores, como o preço do combustível e disponibilidade das renováveis, dos custos de produção e da procura verificada.

A necessidade e os benefícios deste tipo de sistema de gestão de recursos é evidenciada pela:

- quantidade de cargas presentes numa habitação;
- dificuldade sentida pelo consumidor para:
  - gerir adequadamente, no sentido da optimização dos seus objectivos, o consumo dessas cargas;
  - tirar o máximo partida da microprodução e dos seus sistemas de armazenamento, incluindo o veículo eléctrico,

minimizando a sua factura de energia eléctrica e mantendo os seus padrões de conforto e qualidade de vida.

O desenvolvimento de algoritmos capazes de controlar os vários recursos energéticos irá trazer vantagens ao consumidor, nomeadamente:

- a redução automática do seu consumo quando o preço do kWh está mais elevado;
- o armazenamento de energia para posterior consumo ou venda à rede;
- o reagendamento ou interrupção do funcionamento de cargas.

Para além dos benefícios para o consumidor, este sistema contribui para a fiabilidade da rede, não prejudicando os outros intervenientes na rede (produtores, operador de rede, distribuidores).

Uma vez que o consumo de electricidade em Portugal varia também com a altura do ano (Figura 71) e com as rotinas e preferências dos consumidores, a *Energy Box*:

- permitirá gerir todos os recursos de acordo com as várias restrições;
- trará benefícios quantificáveis em termos:
  - de poupanças energéticas respeitando no entanto sempre as preferências do consumidor;
  - da diminuição das emissões de GEE.
- adiará novos investimentos em centrais mais actuais;
- possibilitará o nivelamento da curva da procura agregada e melhoria do factor de carga.

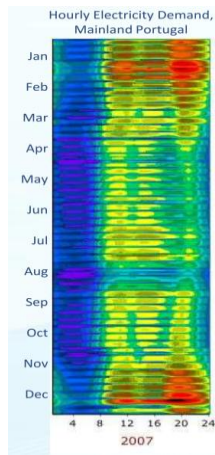



Figura 71: Consumo de electricidade em Portugal Continental [97]

De forma resumida, a *Energy Box* traz vantagens tanto para o consumidor como para as *utilities* (Tabela 8).

Tabela 8: Benefícios potenciais da *Energy Box*

	Benefícios potenciais
Consumidor	• Possibilidade de satisfação das suas necessidades em termos de serviços de energia com menores custos, através da adequação dos seus consumos/recursos ao preço da energia • Controlo automático dos vários recursos respeitando as preferências do consumidor • Evitar consumos desnecessários • Satisfação pela (eventual) maior contribuição do consumidor para objectivos ambientais
Utilities	• Nivelamento da curva da procura agregada • Melhoria do factor de carga • Maior eficiência económica e técnica • Maior satisfação por parte dos seus clientes • Concorrência • Adiamento da necessidade de mais investimentos em novas centrais e consequentemente na rede de transporte e distribuição

Bibliografia

1. **Schweppe, F. C., et al.** Homeostatic Utility Control. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems.* May/June de 1980, Vols. PAS-99, 3, pp. 1151-1163.

2. Balanços Energéticos. *DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia.* [Online] 2010. www.dgge.pt.

3. **Goldman, C., Hopper, N. e Bharvir, R.** *Estimating Demand Response Market Potential among Large Commercial and Industrial Customers: A Scoping Study.* s.l. : Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, January 2007.

4. **Bayod-Rújula, A.l A.** Future development of the electricity systems with distributed generation. *Energy.* 2009, 34, pp. 377-383.

5. *Four potential business cases for demand side integration.* **De Ridder, F., Hommelberg, M. e Peeters, E.** s.l. : Energy Market, 2009. EEM 2009. 6th International Conference on the European, 2009. pp. 1-6.

6. **Shahidehpour, M.** Editorial. *IEEE Transactions on Smart Grid.* June 2010, Vol. 1, 1.

7. **ISR - Universidade de Coimbra.** O projecto REMODECE. [Online] http://remodece.isr.uc.pt/.

8. **Hahn, Heiko, Meyer-Nieberg, Sillja e Pickl, Stefan.** Electric load forecasting methods: Tools for decision making. *European Journal of Operational Research.* 2009, Vol. 199, pp. 902-907.

9. **Liu, X.** Economic Load Dispatch Constrained by Wind Powere Availability: A Wait-and-See Approach. *IEEE Transactions on Smart Grid.* 2010, Vol. 1, 3.

10. *On the Use of Energy Storage Technologies for Regulation Services in Electric Power Systems with Significant Penetration of Wind Energy.* **Yang, Bo, et al.** Lisboa : s.n., 2008. 5th International Conference on European Electricity Market. pp. 1-6.

11. **Moura, P. S. e de Almeida, A.l T.** The role of demand-side management in the grid integration of wind power. *Applied Energy.* 2010, Vol. 87, pp. 2581-2588.

12. **Abrahamse, W., et al.** A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *Journal of Environmental Psychology.* 2005, Vol. 25, pp. 273-291.

13. **Gellings, C. W. e Chamberlin, J. H.** *Demand-side management: Concepts & Methods.* s.l. : The Fairmont Press, Inc., 1993.

14. **Moura, P.** *Metodologias e Tecnologias para a Integração em Larga Escala de Fontes Renováveis Intermitentes.* s.l. : Tese de Doutoramento da Universidade de Coimbra, 2010.

15. **Teleke, S., et al.** Rule-Based Control of Battery Energy Storage for Dispatching Intermittent Renewable Sources. *IEEE Transactions on Sustainable Energy.* October de 2010, Vol. 1, 3.

16. **Abaravicius, J. e Pyrko, J.** Load Management from an Environmental Perspective. *Energy & Environment.* 2006, Vol. 17, 4.

17. **Broeer, T. e Djilali, N.** *FutureGrid. BC's Energy Options in a Changing Environment. Defining Demand Side Management.* s.l. : Institute for Integrated Energy Systems, University of Victoria, June 2010.

18. **Gomes, A., Martins, A. Gomes e Figueiredo, R.** Simulation-based assessment of electric load management programs. *International Journal of Operational Research.* 1999, 23, pp. 169-181.

19. **Gellings, C.** The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities. *Proceedings of the IEEE.* October 1985, Vol. 73, 10.

20. **Charles River Associates.** *Primer on Demand-Side Management with an emphasis on price-responsive programs.* February 2005.

21. **Gomes, A., Antunes, C. H. e Martins, A. G.** A Multiple Objective Approach to Electric Load Management Using an Interactive Evolutionary Algorithm. *IEEE Transactions on Power Systems.* 2007, Vol. 22, 3, pp. 1004-1011.

22. **DGGE / IP-3E.** *Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial.* Lisboa : s.n., 2004.

23. **Hamacher, T. et al.** *Integration of large scale wind power into the grid.* Barcelona : Power-Gen Europe, 2004.

24. *New Principles for Demand Response Planning.* s.l. : EPRI, Palo Alto, CA, March 2002. EP-P6035/C3047.

25. **U.S. Department of Energy.** *Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them.* February 2006.

26. **de Almeida, A. e Fonseca, P.** *Residential monitoring ti decrease energy use and carbon emissions in Europe.* s.l. : Remodece 2005, 2006.

27. **Martiskainen, M.** *Affecting Consumer Behaviour on Energy Demand - Final report to EdF Energy.* SPRU - Science and Technology Policy Research, University of Sussex. Brighton : s.n., March 2007.

28. **Carroll, E., Hatton, E. e Brown, M.** *Residential Energy Use Behavior Change Pilot.* s.l. : Franklin Energy, April 20, 2009.

29. **EDP Distribuição.** *EDP Diagramas de carga no sector doméstico.* 2002.

30. **Timpe, C.** *Smart Domestic Appliances supporting the System Integration of Renewable Energy.* s.l. : Smart-A ; Intelligent Energy Europe.

31. *Caracterização dos Consumos no Sector Residencial.* **Jorge, Humberto.** Coimbra : s.n., 2010. Workshop sobre "Consumos de energia nos modos standby e desligado".

32. **Kupzog, F. e Roesener, C.** A closer Look on Load Management. *5th IEEE International Conference on Industrial Informatics.* 2007, pp. 1151-1156.

33. **Lui, T. J., Stirling, W. e Marcy, H. O.** Get Smart. *IEEE Power & Energy Magazine.* May/June 2010.

34. **Xu, Z., Togeby, M.l e Ostergaard, J.** *Demand as Frequency Controlled Reserve.* September 2008.

35. **Stamminger, R.** *Synergy Potential of Smart Appliances: D2.3 of WP 2 from the Smart-A project.* November 2008.

36. Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho. 19 Maio 2010.

37. **Aguiar, R. e Santos, F. D.** *MISP: Energia e Emissões de Gases com Efeito de Estufa: Um Exercício de Prospectiva para Portugal até 2070. Projecto MISP - Climate Change: Mitigation Strategies in Portugal.* Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian e Instituto D. Luiz, 2007.

38. **Molina, A., et al.** Implementation and assessment of physically based electrical load models: application to direct load control residential programmes. *IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution.* 2003, Vol. 150, 1, pp. 61-66.

39. **Chu, C. e Jong, T.** A novel direct air-conditioning load control method. *IEEE Transactions on Power System.* August 2008, Vol. 23, 3, pp. 1356-1363.

40. **Daikin AC.** [Online]

41. **Wang, P., et al.** Demand Side Load Management of Smart Grids Using Intelligent Trading/Metering/ Billing System. *2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting.* 2010.

42. **Gomes, A.** *Simulação de Cargas Eléctricas no Contexto do Condicionamento da Procura de Energia Eléctrica.* Coimbra : DEE - FCTUC, 1995. Tese de Mestrado.

43. **Faruqui, A., Harris, D. e Hledik, R.** Unlocking the €53 billion savings from smart meters in the EU: How increasing the adoption of dynamic tariffs could make or break the EU's smart grid investment. *Energy Policy.* doi: 10.1016/j.2010.06.010, 2010, Vol. 38, pp. 6222-6231.

44. *Dados recolhidos em auditores e fornecidos pelo Professor Humberto Jorge.*

45. **Vincent, C. A. e Scrosati, B.** *Modern Batteries: An Introduction to Electrochemical Power Sources.* s.l. : Butterworth Heinemann, 2003.

46. **Roberts, B.** Capturing Grid Power. *IEEE Power and Energy Magazine.* 2009, Vol. 7, 4, pp. 32-41.

47. **Castaner, L. e Silvestre, S.** *Modelling Photovoltaic Systems using PSpice.* s.l. : John Wiley & Sons, Ltd, 2002.

48. *Lithium Ion Battery System and their Application.* **Vezzini, Andrea.** s.l. : Bern University of Applied Sciences, Engineering and Information Technology, June2009.

49. **Linden, D. e Reddy, Thomas S.** *Handbook of batteries.* s.l. : McGraw-Hill Handbooks, 2002.

50. **Schalkwijk, W. A. van.** Charging, Monitoring and Control. [autor do livro] W. van Schalkwijk e B. Scrosati. *Advances in Lithium-Ion Batteries.* s.l. : Kluwer Academic / Plenum Plubishers, 2002.

51. **Pillai, J. R. e Bak-Jensen, B.** Integration of Vehicle-to-Grid in the Western Danish Power System. *IEEE Transactions on Sustainable Energy.* January de 2011, Vol. 2, 1.

52. **Castro, B. e Ferreira, T.** Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. *BNDES Setorial.* 2010, 32, pp. 267-310.

53. **Ipakchi, A. e Albuyeh, F.** Grid of the future. *IEEE Power Energy Mag.* Mar.-Apr. de 2009, Vol. 7, 2, pp. 52-62.

54. *Smart Charging Strategies for Electric Vehicles: Enhancing Grid Performance and Maximizing the Use of Variable Renewable Energy Resources.* **Lopes, J.A. Peças, et al.** Porto, Portugal : INESC Porto / FEUP, 2009.

55. *Fast Charging vs. Slow Charging: Pros and cons for the New Age of Electric Vehicles.* **Bostford, Charles e Szczepanek, Adam.** EVS24 Stavanger, Norway : s.n., May 13-16, 2009.

56. *A produção de electricidade a partir de fontes renováveis - Energia Eólica.* **Serranho, H.** s.l. : Grupo GENERG, 2010. Jornadas Técnicas da Região Centro - Ordem dos Engenheiros.

57. *Contributo das Energias Renováveis em 2020.* **Bernardo, J.** s.l. : DGEG, 2010. Fórum Renováveis Magazine.

58. **apren.** *Roteiro Nacional das Energias Renováveis - Aplicação da Directiva 2009/28/CE.* 2010.

59. **GREENPRO.** *Energia Fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projecto e instalação.* 2004.

60. *Impacte Ambiental associado às Aplicações de Energia Solar, Eólica e dos Oceanos.* **Mendes, J. F.** s.l. : LNEG. 4ª Conferência Nacional de Avaliação de Impactes.

61. *Energias Renováveis em Portugal.* **Joyce, A.** Lisboa : INETI, 2005.

62. **ENERgy Saving Information for Generation and Consumption Networks.** *D 2.3 ENERsip Platform Reference Architecture.* 2010.

63. **GREENPRO.** *Energua SolarTérmica: manual sobre tecnologias, projecto e instalação.* 2004.

64. **Li, Q., et al.** On the determination of battery energy storage capacity and short-term power dispatch of a wind farm. *IEEE Transactions on Sustainable Energy.*

65. **Holttinen, H. et al.** *Design and operation of power systems with large amounts of wind power,.* s.l. : International Energy Agency, 2007. IEA WIND Task 25.

66. **Schneller, C.** Integrating wind power into the power supply system. *Intelligent Policy Options.* 2004.

67. REN. [Online] http://www.centrodeinformacao.ren.pt.

68. **Intelligent Energy Europe.** *Produção de Electricidade para Uso Residencial com Energias Renováveis e Cogeração - PERCH - Guia para os Usos Residenciais e Comerciais.*

69. *Avaliação do potencial de tecnologias de micro-cogeração em Portugal nos sectores residencial e de serviços.* **Gomes, F., et al.** Portalegre, Portugal : s.n., 25-27 Novembro 2009. 3rd International Congress on Energy and Environment Engineering and Management.

70. Decreto-Lei nº.118-A/2010.

71. Despacho DGEG de 30 de Dezembro de 2010.

72. **Moshari, A., et al.** Demand-Side Behavior in the Smart Grid Environment. *2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe).* doi: 10.1109/ISGTEUROPE.2010.5638956, 2010, pp. 1-7.

73. **United States Government Accountability Office.** Electricity Grid Modernization: Progress being made on Cybersecurity Guidelines, but Key Challenges Remain to be Addressed. [Online] January 2011. http://www.gao.gov/products/GAO-11-117.

74. **Brown, H. E., Siddarth, S. e Heydt, G. T.** Some Characteristics of Emerging Distribution Systems Considering the Smart Grid Initiative. *The Electricity Journal.* June de 2010, Vol. 23, 5, pp. 1-12.

75. **Sponsored by DOE's Office of Electricity Delivery and Energy Reliability.** One of Six Smart Grid Stakeholders Books: Consumer Advocates. *The Smart Grid: An Introduction.* s.l. : http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/ConsumerAdvocates.pdf.

76. **Rosenfield, M.** The Smart Grid and Key Research Technical Challenges. *2010 Symposium on VLSI Technology (VLSIT).* doi: 10.1109/VLSIT.2010.5556140, 2010, pp. 3-8.

77. **Mohseniana-Rad, A., et al.** Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid. *IEEE Transactions on Smart Grid.* December 2010, Vol. 1, 3, pp. 320-331.

78. **Seebach, D., Timpe, C. e Bauknecht, D.** *Costs and Benefits of Smart Appliances in Europe.* s.l. : Öko-Inrtitut, 2009.

79. **Livengood, D. e Larson, R.** The Energy Box: Locally Automated Optimal Control of Residential Electricity Usage. *Service Science.* 2009, Vol. 1, 1, pp. 1-16.

80. **Geller, E. S.** The Challenge of Increasing Proenvironment Behavior. [autor do livro] R. G. Bechtel e A. Churchman. *Handbook of Environmental Psychology.* New York : Wiley, 2002, pp. 525-540.

81. **Brandon, G. e Lewis, A.** Reducing Household Energy Consumption: A Qualitative and Quantitative Field Study. *Journal of Environmental Psychology.* 1999, Vol. 19, pp. 75-85.

82. **Becker, L. J., et al.** Relating attitudes to residential energy use. *Environment and Behavior.* 1981, Vol. 13, 5, pp. 590-609.

83. **Kempton, W., Boster, J. S. e Hartley, J. A.** *Environmental values in American culture.* Boston : MIT Press, 1995.

84. **Kempton, W., Darley, J. e Stern, P.** Psychological research for the new energy problems: Strategies and opportunities. *American Psychologist.* 1992, Vol. 47, 10, pp. 1213-1223.

85. **McMakin, A. H., Malone, E. L. e Lundgren, R. E.** Motivating residents to conserve energy without financial incentives. *Environment and Behavior.* 2002, Vol. 34, pp. 848-863.

86. **Darby, S.** *The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption - A Review for Defra of.* Environmental Change Institute, Oxford Institution. 2006. A Review for Defra of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays.

87. **Fischer, C.** Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency.* 2008, pp. 79-104.

88. **Watson, J., et al.** *Unlocking the Power House: Policy and system change for domestic micro-generation in the UK.* Brighton : SPRU, 2006.

89. **Albadi, M. H. e El-Saadany, E. F.** A summary of demand response in electricity markets. *Electric Power Systems Research.* 2008, 78, pp. 1989-1996.

90. *ZigBee: The choice for Energy Management and Efficiency | ZigBee White Paper.* s.l. : www.zigbee.org, June 2007.

91. **Eady, F.** *Hands-on ZigBee.* s.l. : Elsevier, 2007.

92. **Silva, A. T.** *Módulos de Comunicação Wireless para Sensores.* s.l. : FEUP, 2007. Tese Licenciatura.

93. **Carpaneto, E. e Chicco, G.** Probabilistic characterisation of the aggregated residential load patterns. *IET Generation, Transmission & Distribution.* 2008, Vol. 2, 3, pp. 373-382.

94. **Jardini, J. A., et al.** 'Daily load profiles for residential, commercial and industrial low voltage consumers. *IEEE Transaction on Power Delivery.* 2000, Vol. 15, 1, pp. 375-380.

95. **Heunis, S. W. e Herman, R.** A probabilistic model for residential consumer loads. *IEEE Transaction on Power Systems.* 2002, Vol. 17, 3, pp. 621-625.

96. **McQueen, D. H. O., Hyland, P. R. e Watson, S. J.** Monte Carlo simulation of residential electricity demand for forecasting maximum demand on distribution networks. *IEEE Transactions on Power Systems.* 2004, Vol. 19, 3, pp. 1685-1689.

97. *The Impact of Renewable Energies in Research - A view from the MIT-Portugal Program.* **Ferrão, Paulo.** Conferência APREN - Electricidade Renovável 2010/2020.

A. Anexo

A.1. Simulador

O simulador desenvolvido no Excel permite ver o impacto da adesão dos consumidores ao sistema de gestão integrado de recursos *Energy Box* no diagrama de carga diário.

Para o desenvolvimento do simulador foram tecidas determinadas considerações, de acordo com fontes credíveis, relativas:

- ao número de habitações;
- taxa de posse de equipamentos;
- consumos desagregados no sector residencial;
- consumo típico dos diferentes equipamentos;
- padrão de utilizações dos diferentes equipamentos durante as 24 horas e consequente distribuição ao longo do dia.

Assumiu-se também a existência de dois períodos diferentes ao longo do dia, correspondendo um às horas de vazio e o outro às horas de cheia, não sendo obrigatório que os períodos sejam coincidentes com os usados nas tarifa bi-horária ou que existam apenas dois blocos contíguos por dia.

A classificação dos equipamentos para o grau de controlo foi estabelecida de acordo com a atribuída no Capítulo 4.2:

0. cargas não controláveis:
   - equipamento audiovisual e informático;
   - iluminação;
   - outro tipo de equipamentos (ferro de engomar, torradeiras, etc.).
1. cargas que podem ser reparametrizadas:
   - sistemas de ar condicionado e termoacumuladores.
2. cargas que podem ser interrompidas:
   - frigoríficos, arcas congeladoras e combinados.
3. cargas que podem ser reagendadas:
   - máquinas de lavar e secar.

Consoante a classificação atribuída, varia o consumo a determinadas horas e como consequência, o diagrama de cargas diário:

- cargas que podem ser reparametrizadas:

- variação de 1ºC com diminuição de 10% no consumo nas horas de cheio e o mesmo aumento nas horas de vazio.
- cargas que podem ser interrompidas:
    - diminuição de 10% no consumo nas horas de cheio e o aumento de 15% nas horas de vazio.
- cargas que podem ser desviadas para outros períodos horários:
    - funcionamento obrigatoriamente durante as horas de vazio.

Estas considerações serviram de dados de entrada, que estão disponíveis no ficheiro Ana_Soares_2010166266_2011_a.pdf, podem facilmente ser alteradas na tabela do Excel apresentada na Figura A. 1. Mediante os dados de entrada, com especial ênfase para a percentagem de adesão ao sistema de gestão de recursos, o simulador calcula as quantidades dos equipamentos presentes no sector residencial, os respectivos consumos (Figura A. 2 e Figura A. 3) e traça o diagrama de carga correspondente (Figura A. 4).

Fazendo a simulação para a situação actual em que não existe um sistema de gestão (i.e., 0% de adesão) e para uma situação em que essa percentagem é de 70%, verifica-se uma diminuição do pico do consumo e um maior preenchimento do período entre as 2 horas e as 8 horas.

Este simulador permite também o cálculo da poupança para um consumidor típico baseado nos dados de entrada e na informação do preço das horas de cheio e de vazio, rondando essa poupança os 5% (Figura A. 5).

As preferências dos consumidores e a energia produzida através de sistemas de microgeração e consequente decisão sobre a sua venda ou consumo ou armazenamento não estão contempladas neste simulador devido ao seu grau de dificuldade mas serão posteriormente englobadas nos trabalhos futuros aquando da implementação de algoritmos adequados à gestão dos vários recursos energéticos.

DADOS																					
Qt habitações	3500000		Consumo unit Wh																		
% adesão	0	100	0		1		2		3			C	V	V	V	V	V	V	V	C	C
Equipamentos	% posse/hab	qt	C	V	C	V	C	V	C	V		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Iluminação	100%	3500000	130	130							0	42%	29%	20%	17%	16%	12%	18%	27%	31%	25%
Frigorificos	110%	3850000	79	79			71,1	90,85			2	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Audiovisuais	100%	3500000	93	93							0	63%	42%	37%	32%	29%	27%	27%	31%	33%	36%
Arcas congeladoras	50%	1750000	80	80			72	92			2	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Máq lavar roupa	90%	3150000	370	370					0	370	3	2%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	4%	5%
Máq lavar louça	30%	1050000	740	740					0	740	3	8%	3%	2%	0%	1%	0%	0%	1%	2%	4%
Máq secar roupa	12%	420000	2780	2780					0	2780	3	2%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	1%	2%
Informática	30%	1050000	225	225							0	60%	58%	40%	37%	34%	36%	37%	38%	40%	43%
AQS eléctrico	15%	525000	226	226	203,4	226					1	43%	11%	6%	4%	11%	22%	43%	65%	138%	125%
Ar Condicionado	5%	175000	590	590	531	590					1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Outros											0										

Figura A. 1: Simulador desenvolvido no Excel – tabela respeitante aos dados de entrada

0 % de consumidores com sistema de gestão

Tabela com os dados de entrada

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	DADOS																					
2	Qt habitações	3500000		Consumo unit Wh																		
3	% adesão	0	100	0		1		2		3				C	V	V	V	V	V	V	V	C
4	Equipamentos	% posse/h.	qt	C	V	C	V	C	V	C	V			1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Iluminação	100%	3500000	130	130	130	130					0		42%	29%	20%	17%	16%	12%	18%	27%	31
6	Frigoríficos	110%	3850000	79	79			71,1	90,85			2		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100
7	Audiovisuais	100%	3500000	93	93	93	93					0		63%	42%	37%	32%	29%	27%	27%	31%	33
8	Arcas congeladora	50%	1750000	80	80			72	92			2		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100
9	Máq lavar roupa	90%	3150000	370	370					0	370	3		2%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	4
10	Máq lavar louça	30%	1050000	740	740					0	740	3		8%	3%	2%	0%	1%	0%	0%	1%	2
11	Máq secar roupa	12%	420000	2780	2780					0	2780	3		2%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	1
12	Informática	30%	1050000	225	225	225	225					0		60%	58%	40%	37%	34%	36%	37%	38%	40
13	AQS eléctrico	15%	525000	226	226	203,4	226					1		43%	11%	6%	4%	11%	22%	43%	65%	13
14	Ar Condicionado	5%	175000	590	590	531	590					1		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0
15	Outros											0										

Tabela com as quantidades de equipamentos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
16	QUANTIDADES																					
17				Consumo unit Wh																		
18				0		1		2		3												
19	Equipamentos	% posse/h.	qt	C	V	C	V	C	V	C	V		dados de 2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	Iluminação											0	28280000	1470000	1015000	700000	595000	560000	420000	630000	945000	108500
21	Frigoríficos											2	92400000	3850000	3850000	3850000	3850000	3850000	3850000	3850000	3850000	385000
22	Audiovisuais											0	40320000	2205000	1470000	1295000	1120000	1015000	945000	945000	1085000	115500
23	Arcas congeladoras											2	42000000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	175000
24	Máq lavar roupa											3	1764000	63000	63000	31500	0	0	0	0	31500	12600
25	Máq lavar louça											3	903000	84000	31500	21000	0	10500	0	0	10500	2100
26	Máq secar roupa											3	243600	8400	0	0	4200	0	0	0	4200	420
27	Informática											0	13408500	630000	609000	420000	388500	357000	378000	388500	399000	42000
28	AQS eléctrico											1	7350000	226153,8462	56538,46154	33923,07692	22615,38462	56538,4615	113076,9231	226153,846	339230,7692	723692,3
29	Ar Condicionado											1	175000	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	Outros											0										

Tabela com os consumos dos equipamentos do tipo 0

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
31	CONSUMO EQUIPAMENTO TIPO																					
32			0	Consumo unit Wh																		
33				0		1		2		3												
34	Equipamentos	% posse/h.	qt	C	V	C	V	C	V	C	V		dados de 2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	Iluminação			130	130	130	130	0	0	0	0	0	3676400000	191100000	131950000	91000000	77350000	72800000	54600000	81900000	122850000	1410500
36	Frigoríficos											2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	Audiovisuais			93	93	93	93	0	0	0	0	0	3749760000	205065000	136710000	120435000	104160000	94395000	87885000	87885000	100905000	1074150
38	Arcas congeladoras											2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	Máq lavar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	Máq lavar louça											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41	Máq secar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42	Informática			225	225	225	225	0	0	0	0	0	3016912500	141750000	137025000	94500000	87412500	80325000	85050000	87412500	89775000	945000
43	AQS eléctrico											1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44	Ar Condicionado											1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45	Outros											0		0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabela com os consumos dos equipamentos do tipo 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
46	CONSUMO EQUIPAMENTO TIPO																					
47			1	Consumo unit Wh																		
48				0		1		2		3												
49	Equipamentos	% posse/h.	qt	C	V	C	V	C	V	C	V		dados de 2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	Iluminação											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
51	Frigoríficos											2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
52	Audiovisuais											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
53	Arcas congeladoras											2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
54	Máq lavar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
55	Máq lavar louça											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
56	Máq secar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
57	Informática											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
58	AQS eléctrico			226	226	203,4	226	0	0	0	0	1	1661100000	5110769,23	12777692,31	7666615,385	5111076,923	12777692,3	25555384,62	5110769,2	7666153,85	163554
59	Ar Condicionado			590	590	531	590	0	0	0	0	1	103250000	0	0	0	0	0	0	0	0	
60	Outros											0										

Tabela com os consumos dos equipamentos do tipo 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
61	CONSUMO EQUIPAMENTO TIPO																					
62			2	Consumo unit Wh																		
63				0		1		2		3												
64	Equipamentos	% posse/h.	qt	C	V	C	V	C	V	C	V		dados de 2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9
65	Iluminação											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
66	Frigoríficos			79	79	0	0	71,1	90,85	0	0	2	7299600000	304150000	304150000	304150000	304150000	304150000	304150000	304150000	304150000	3041500
67	Audiovisuais											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
68	Arcas congeladoras			80	80	0	0	72	92	0	0	2	3360000000	140000000	140000000	140000000	140000000	140000000	140000000	140000000	140000000	1400000
69	Máq lavar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
70	Máq lavar louça											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
71	Máq secar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
72	Informática											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
73	AQS eléctrico											1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

d

Figura A. 2: Consumos por tipo de cargas e consumo total com 0% de adesão ao sistema de gestão

70 % de consumidores com sistema de gestão

Tabela com os dados de entrada

Tabela com as quantidades de equipamentos

Tabela com os consumos dos equipamentos do tipo 0

Tabela com os consumos dos equipamentos do tipo 1

Tabela com os consumos dos equipamentos do tipo 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	DADOS																					
2	Qt habitações	3500000		Consumo unit Vh																		
3	% adesão	70	30	0		1		2		3				C	V	V	V	V	V	V	V	C
4	Equipamentos	% posse/h	qt	C	V	C	V	C	V	C	V			1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Iluminação	100%	3500000	130	130	130	130					0		42%	29%	20%	17%	16%	12%	18%	27%	31
6	Frigoríficos	110%	3850000	79	79			71,1	90,85			2		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100
7	Audiovisuais	100%	3500000	93	93	93	93					0		63%	42%	37%	32%	29%	27%	27%	31%	33
8	Arcas congeladora	50%	1750000	80	80			72	92			2		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100
9	Máq lavar roupa	90%	3150000	370	370					0	370	3		2%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	4
10	Máq lavar louça	30%	1050000	740	740					0	740	3		8%	3%	2%	0%	1%	0%	0%	1%	2
11	Máq secar roupa	12%	420000	2780	2780					0	2780	3		2%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	1
12	Informática	30%	1050000	225	225	225	225					0		60%	58%	40%	37%	34%	36%	37%	38%	40
13	AQS eléctrico	15%	525000	226	226	203,4	226					1		43%	11%	6%	4%	11%	22%	43%	65%	13
14	Ar Condicionado	5%	175000	590	590	531	590					1		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0
15	Outros											0										
16	QUANTIDADES																					
17				Consumo unit Vh																		
18				0		1		2		3												
19	Equipamentos	% posse/h	qt	C	V	C	V	C	V	C	V		dados de 2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	Iluminação											0	28280000	1470000	1015000	700000	595000	560000	420000	630000	945000	10850
21	Frigoríficos											2	92400000	3850000	3850000	3850000	3850000	3850000	3850000	3850000	3850000	38500
22	Audiovisuais											0	40320000	2205000	1470000	1295000	1120000	1015000	945000	945000	1085000	11550
23	Arcas congeladoras											2	42000000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	17500
24	Máq lavar roupa											3	1764000	63000	63000	31500	0	0	0	0	31500	1260
25	Máq lavar louça											3	903000	84000	31500	21000	0	10500	0	0	10500	210
26	Máq secar roupa											3	243600	8400	0	0	4200	0	0	0	4200	42
27	Informática											0	13408500	630000	609000	420000	388500	357000	378000	388500	399000	4200
28	AQS eléctrico											1	7350000	226153,8462	56538,46154	33923,07692	22615,38462	56538,4615	113076,9231	226153,846	339230,7692	723692,3
29	Ar Condicionado											1	175000	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	Outros											0										
31	CONSUMO EQUIPAMENTO TIPO																					
32			0	Consumo unit Vh																		
33				0		1		2		3												
34	Equipamentos	% posse/h	qt	C	V	C	V	C	V	C	V		dados de 2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	Iluminação			130	130	130	130	0	0	0	0	0	3676400000	191100000	131950000	91000000	77350000	72800000	54600000	81900000	122850000	14105000
36	Frigoríficos											2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	Audiovisuais			93	93	93	93	0	0	0	0	0	3749760000	205065000	136710000	120435000	104160000	94395000	87885000	87885000	100905000	1074150
38	Arcas congeladoras											2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	Máq lavar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	Máq lavar louça											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41	Máq secar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42	Informática			225	225	225	225	0	0	0	0	0	3016912500	141750000	137025000	94500000	87412500	80325000	85050000	87412500	89775000	945000
43	AQS eléctrico											1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44	Ar Condicionado											1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45	Outros											0		0	0	0	0	0	0	0	0	
46	CONSUMO EQUIPAMENTO TIPO																					
47			1	Consumo unit Vh																		
48				0		1		2		3												
49	Equipamentos	% posse/h	qt	C	V	C	V	C	V	C	V		dados de 2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	Iluminação											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
51	Frigoríficos											2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
52	Audiovisuais											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
53	Arcas congeladoras											2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
54	Máq lavar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
55	Máq lavar louça											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
56	Máq secar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
57	Informática											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
58	AQS eléctrico			226	226	203,4	226	0	0	0	0	1	1558239577	47533015,38	12777692,31	7666615,385	5111076,923	12777692,3	25555384,62	5110769,2	7666153,85	152105
59	Ar Condicionado			590	590	531	590	0	0	0	0	1	96022500	0	0	0	0	0	0	0	0	
60	Outros											0										
61	CONSUMO EQUIPAMENTO TIPO																					
62			2	Consumo unit Vh																		
63				0		1		2		3												
64	Equipamentos	% posse/h	qt	C	V	C	V	C	V	C	V		dados de 2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9
65	Iluminação											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
66	Frigoríficos			79	79	0	0	71,1	90,85	0	0	2	7161211750	282859500	336085750	336085750	336085750	336085750	336085750	336085750	336085750	2828595
67	Audiovisuais											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
68	Arcas congeladoras			80	80	0	0	72	92	0	0	2	3296300000	130200000	154700000	154700000	154700000	154700000	154700000	154700000	154700000	1302000
69	Máq lavar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
70	Máq lavar louça											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
71	Máq secar roupa											3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
72	Informática											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
73	AQS eléctrico											1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

f

Figura A. 3: Consumos por tipo de cargas e consumo total com 70% de adesão ao sistema de gestão

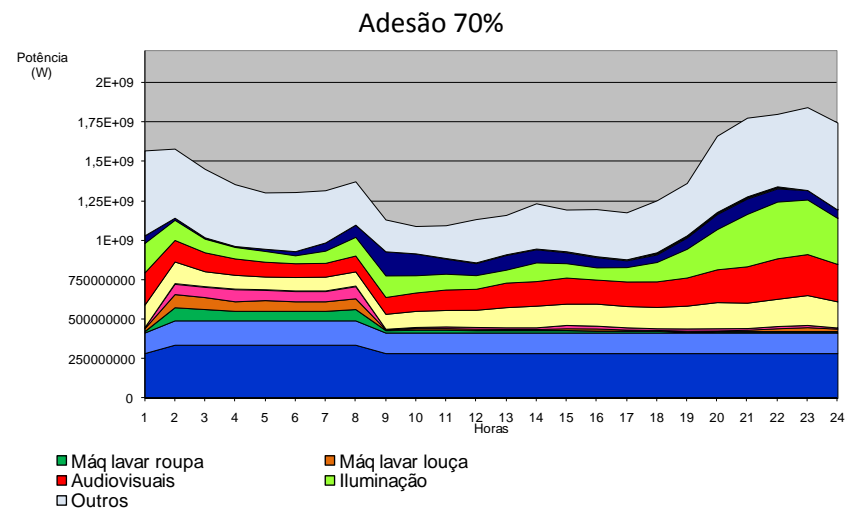
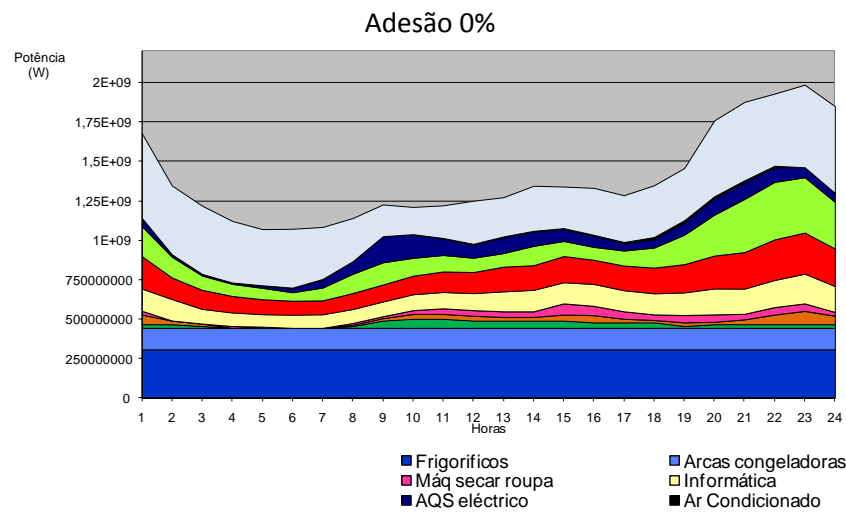



Figura A. 4: Impacto da adesão no diagrama de carga diário

Consumidor sem sistema de gestão

				Consumo unit Wh									
196	Qt habitações	3500000											
197	% adesão	0											
198	Equipamentos	% posse/habit		Média por habitação/dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9
199	Iluminação		0	1050	54,6	37,7	26	22,1	20,8	15,6	23,4	35,1	40,3
200	Frigorificos		2	2086	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9
201	Audiovisuais		0	1071	58,59	39,06	34,41	29,76	26,97	25,11	25,11	28,83	30,69
202	Arcas congeladoras		2	960	40	40	40	40	40	40	40	40	40
203	Máq lavar roupa		3	186	6,66	6,66	3,33	0	0	0	0	3,33	13,32
204	Máq lavar louça		3	191	17,76	6,66	4,44	0	2,22	0	0	2,22	4,44
205	Máq secar roupa		3	193	6,672	0	0	3,336	0	0	0	3,336	3,336
206	Informática		0	862	40,5	39,15	27	24,975	22,95	24,3	24,975	25,65	27
207	AQS eléctrico		1	475	14,60307692	3,650769231	2,190461538	1,460307692	3,650769231	7,301538462	14,60307692	21,90461538	46,72984615
208	Ar Condicionado		1	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	Outros		1	2451	153,9569231	125,2435165	124,1238242	112,053978	102,1492308	107,0698901	94,59692308	78,52395604	57,7272967

	Média por habitação	Total	V	C
213	Iluminação	1050	181	870
214	Frigorificos	2086	608	1477
215	Audiovisuais	1071	209	862
216	Arcas congeladoras	960	280	680
217	Máq lavar roupa	186	13	173
218	Máq lavar louça	191	16	175
219	Máq secar roupa	193	7	187
220	Informática	862	189	673
221	AQS eléctrico	475	55	420
222	Ar Condicionado	30	0	30
223	Outros	2451	744	1708
224	**Soma Watts.hora/dia**	**9556**	**2301**	**7254**
225	**Soma kWatts.hora/mês**	**287**	**69**	**218**
226	**Soma kWatts.hora/ano**	**3488**	**840**	**2648**

228	preço kW.hora	0,0778	0,1448
229	Euros/dia	0,179	1,050
230	Euro/mês	5,371	31,513
231	**TOTAL mensal**	**36,884 euros**	

Factura mensal

Consumidor com sistema de gestão

				Consumo unit Wh									
196	Qt habitações	3500000											
197	% adesão	100											
198	Equipamentos	% posse/habit		Média por habitação/dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9
199	Iluminação		0	1050	54,6	37,7	26	22,1	20,8	15,6	23,4	35,1	40,3
200	Frigorificos		2	2029	78,21	99,935	99,935	99,935	99,935	99,935	99,935	99,935	78,21
201	Audiovisuais		0	1071	58,59	39,06	34,41	29,76	26,97	25,11	25,11	28,83	30,69
202	Arcas congeladoras		2	934	36	46	46	46	46	46	46	46	36
203	Máq lavar roupa		3	186	0	31,39714286	28,06714286	24,73714286	24,73714286	24,73714286	24,73714286	28,06714286	0
204	Máq lavar louça		3	191	0	31,71428571	29,49428571	25,05428571	27,27428571	25,05428571	25,05428571	27,27428571	0
205	Máq secar roupa		3	193	0	26,688	26,688	30,024	26,688	26,688	26,688	30,024	0
206	Informática		0	862	40,5	39,15	27	24,975	22,95	24,3	24,975	25,65	27
207	AQS eléctrico		1	433	13,14276923	3,650769231	2,190461538	1,460307692	3,650769231	7,301538462	14,60307692	21,90461538	42,05686154
208	Ar Condicionado		1	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	Outros		1	2451	153,9569231	125,2435165	124,1238242	112,053978	102,1492308	107,0698901	94,59692308	78,52395604	57,7272967

	Média por habitação	Total	V	C
213	Iluminação	1050	181	870
214	Frigorificos	2029	700	1330
215	Audiovisuais	1071	209	862
216	Arcas congeladoras	934	322	612
217	Máq lavar roupa	186	186	0
218	Máq lavar louça	191	191	0
219	Máq secar roupa	193	193	0
220	Informática	862	189	673
221	AQS eléctrico	433	55	378
222	Ar Condicionado	27	0	27
223	Outros	2451	744	1708
224	**Soma Watts.hora/dia**	**9428**	**2970**	**6458**
225	**Soma kWatts.hora/mês**	**283**	**89**	**194**
226	**Soma kWatts.hora/ano**	**3441**	**1084**	**2357**

228	preço kW.hora	0,0778	0,1448
229	Euros/dia	0,231	0,935
230	Euro/mês	6,932	28,055
231	**TOTAL mensal**	**34,986 euros**	

Factura mensal

% poupança

Sistema de gestão de recursos		Poupança	%
Não	Sim		
36,88	34,99	1,90	5%

Figura A. 5: Consumo médio por habitação sem e com sistema de gestão e factura relativa a esse consumo